Aus der Orthopädischen Universitätsklinik
und der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen
Direktor: Prof. Dr. L. Kreuz

Die Beurteilung von 698 objektiven Sensibilitätstesten an der Hand nach E. MOBERG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
JÜRGEN DURST
aus Köslin

1962

7183

Aus der Orthopädischen Universitätsklinik
und der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen
Direktor: Prof. Dr. L. Kreuz

Die Beurteilung von 698 objektiven Sensibilitätstesten an der Hand nach E. MOBERG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
JÜRGEN DURST
aus Köslin

1962

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Dekan: Prof. Dr. K. Brecht

1. Referent: Doz. Dr. G. Zrubecky
Korreferent: Prof. Dr. L. Kreuz

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meinen Eltern

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Kreuz für die Überlassung des Themas. Herrn Oberarzt Doz. Dr. Zrubecky danke ich für die wertvollen Hinweise bei der Gestaltung der Arbeit und für die Stellungnahme als Referent.

Herrn Professor Dr. Feneis für die großzügige Überlassung wertvoller Fachliteratur.

INHALTSVERZEICHNIS

ALLGEMEINER TEIL

Die Leitung der Sensibilität von der Hand zum Rückenmark 1

Der anatomische Verlauf des N. medianus, ulnaris, radialis 1

Die Ausfallserscheinungen der sensiblen und motorischen Nerven an der Hand 3

Die Greifformen der Hand 4

Die primären Greifformen der Hand
die sekundären Greifformen der Hand

SPEZIELLER TEIL

Die Bedeutung der Sensibilität für die Hand 6

Methoden zur Prüfung der Sensibilität 7

Die subjektiven Sensibilitätsteste
Die funktionellen Sensibilitätsteste
Die objektiven Sensibilitätsteste
Allgemeiner Überblick über die bisherigen objektiven Sensibilitätsteste 8

Die Jod-Stärke-Methode 10

Die Ninhydrin-Methode 10

1. Allgemeiner histologischer Aufbau der Haut 10
2. Die Drüsen der Hohlhand 10
3. Die Innervation der Schweißdrüsen 11
4. Die chemische Zusammensetzung des menschlichen Schweißes 14
5. Die chemische Reaktion 14
6. Die technische Durchführung der Ninhydrin-Methode 16

Die Auswertung der an der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen durchgeführten Ninhydrin-Teste 22

Die Besprechung von 8 gesonderten Fällen in Verbindung zwischen dem Operationsbefund und dem erhaltenen Ninhydrin-Test 23

Die Regeneration peripherer sensibler Nerven im Ninhydrin-Test 34

Die vikariierende Funktion peripherer sensibler Nerven im Ninhydrin-Test 36

Die trophischen Störungen bei der Durchtrennung sensibler Nerven im Ninhydrin-Test 38

Die Frage der Regeneration peripherer sensibler Nerven im Hauttransplantat im Ninhydrin-Test 39

Modifizierte objektive Methoden zur Untersuchung der Sensibilität an der Hand 48

Vergleiche zwischen den entwickelten objektiven Sensibilitätstesten und der Ninhydrin-Methode 52

Die Bedeutung der Ninhydrin-Methode für die Handchirurgie 53

ZUSAMMENFASSUNG 55

LITERATUR

ALLGEMEINER TEIL

DIE LEITUNG DER SENSIBILITÄT VON DER HAND ZUM RÜCKENMARK

Die in der Peripherie von den sensiblen Endorganen aufgenommenen Reize werden über drei Nerven dem Rückenmark zugeführt:

1. den Medianus
2. den Ulnaris
3. den Radialis

Während der embryonalen Entwicklung werden die oberen Gliedmasse in Form einer Knospe an der ventralen Seite des Rumpfes im Bereich der Segmente C_5 - Th_1 angelegt. Durch das Wachstum und die weitere Differentierung der Gliedmasse werden die ursprünglich angelegten Segmentanteile zu neuen funktionellen Einheiten zusammengefaßt. Da die dazugehörenden Nerven die Veränderungen mitmachen, entstehen die Rami ventrales der Nn. spinales C_5 - Th_1. Aus den Rami ventrales gehen dann letztlich folgende Nervenäste hervor:

1. der Fascicilus radialis
2. der Fasciculus ulnaris
3. der Fasciculus dorsalis

Aus dem ersten und zweiten Ast entstammt der Medianus, aus dem zweiten der Ulnaris und aus dem dritten der Radialis.

DER ANATOMISCHE VERLAUF DES NERVUS MEDIANUS, ULNARIS, RADIALIS

1. Der Medianus von C_6 - Th_1 stammend, umfaßt mit einer Schlinge die Arteria axillaris, windet sich im Sulcus bicipitis radialis um die Arteria brachialis. Er durchbohrt dann in der Ellenbeuge den Musculus pronator teres und verläuft dann zwischen dem Musculus flexor digitorum superficialis und profundus unter dem Ligamentum carpi transversum hindurch, um in seine Endäste zu zerfallen. Die dadurch entstandenen drei Nn. digitales volares communes teilen sich schließlich in die Nn. digitales volares proprii, welche die Haut der 3 1/2 radialen Finger versorgen. Außerdem geht aus dem Medianus ein Ramus palmaris hervor, der die Haut über den Handwurzelknochen versorgt.

Motorisch werden vom N. medianus alle Beuger des Unterarmes mit Ausnahme des Flexor carpi ulnaris und des ulnaren Teiles des Flexor digitorum profundus versorgt. Außerdem alle Daumenballenmuskeln mit Ausnahme des Adduktor pollicis und des tiefen Kopfes des m. flexor pollicis brevis. Ebenfalls motorisch werden vom N. medianus die Lumbricales 1 und 2 versorgt.

2. Der Nervus ulnaris aus C_6 - Th_1 kommend, tritt durch das Septum intermusculare ulnare auf die Streckseite. Er verläuft dann tastbar durch den Sulcus nervi ulnaris humeri zwischen den Köpfen des m. flexor carpi ulnaris hindurch auf die Beugeseite. Von dort aus zieht er unter dem m. flexor carpi ulnaris weiter bis zur Handwurzel. Hier verläuft er auf dem Ligamentum carpi transversum zur Hohlhand. Die sensiblen Endverzweigungen des N. ulnaris sind:

a) der Ramus palmaris für die Haut der Handwurzeln
b) der Ramus dorsalis manus:

Er zieht ulnar vom Processus styloides ulnae weiter nach distal und zerfällt dabei in die fünf Nn. digitales dorsales. Diese versorgen die ulnare und radiale Seite des vierten und fünften Fingers, sowie die ulnare Seite des dritten Fingers.

c) der Ramus superficialis:

gibt unter anderem die Nn. digitales volares vier und fünf zur Versorgung der Haut ab. Am vierten Finger wird jedoch nur der ulnare Teil sensibel vom N. ulnaris versorgt.

Der N. ulnaris versorgt motorisch an der Beugeseite des Unterarmes und der Hand alle Muskeln, die nicht vom N. medianus versorgt werden.

3. Der N. radialis entstammt den Segmenten C_6 - Th_1. Er zieht im Sulcus nervi radialis distalwärts und gelangt zwischen dem m. brachioradialis und dem m. brachialis in die Ellenbeuge. Hier teilt er sich in seine Endäste auf. Nur der Ramus superficialis gelangt weiter distalwärts, um schließlich auf der Dorsalseite der Hand zu enden.

Die sensiblen Äste sind:

a) der Nervus cutaneus brachii dorsalis (Streckseite des Oberarmes)
b) der Nervus cutaneus antebrachii dorsalis (Streckseite des Unterarmes)
c) der Ramus superficilais:

er anastomosiert mit dem N. ulnaris durch den Ramus communicans ulnaris. Mit den fünf Nn. digitales manus dorsales versorgt er sensibel die Finger I, II und von III. den radialen Anteil.

Motorisch werden vom N. radialis die Strecker des Oberarmes und die radialen und dorsalen Muskeln des Unterarmes versorgt.

DIE AUSFALLSERSCHEINUNGEN DER SENSIBLEN UND MOTORISCHEN NERVEN AN DER HAND

1. Die Medianuslähmung

Bei einem vollständigen Ausfall des N. medianus kommt es zur Schwurhandbildung. Der Daumen kann nicht mehr opponiert werden, durch den motorischen Ausfall des m. opponens pollicis. Lediglich die Adduktion ist durch die Innervation des m. adduktor pollicis durch den N. ulnaris möglich. Außerdem fällt das Hautgefühl an der Volarseite des I.- III. Fingers und des radialen Anteils des IV. Fingers aus.

2. Die Ulnarislähmung

Hier hat man es mit einem Ausfall aller Mm. interossei und der radialen Mm. lumbricales zu tun. Dadurch entsteht das für eine derartige Laesion typische Bild einer Krallenhand. Ferner ist das Spreizen der Finger unmöglich geworden, wie auch die Adduktion des Daumens. Die Daumen-Kleinfingerprobe fällt negativ aus. Das Fehlen des Hautgefühles am ulnaren Teil des IV. Fingers und am ganzen V. Finger sind charakteristisch.

3. Die Radialislähmung

Die Verletzung des Ramus profundus nervi radialis läßt das typische Bild der Fallhand entstehen. Durch die Verletzung des Ramus superficialis nervi radialis kommt es zu einem Sensibilitätsausfall an der Streckseite des Daumens, des Zeigefingers, der radialen Seite des Mittelfingers und an der radialen Hälfte des Handrückens.

Bei sehr proximal gelegenen Verletzungen kann es unter anderem auch zum Sensibilitätsausfall an der Streckseite des Ober- und Unterarmes kommen. Jede dieser drei genannten Nervenverletzungen führt zu schwerwiegenden Einschränkungen im Bewegungsablauf der Hand und setzt die Hand in ihrer Bedeutung als Greif- und Tastorgan stark herab.

DIE GREIFFORM DER HAND

Die Hand als Greif- und Tastorgan nimmt eine nicht ersetzbare Stellung im Leben des Menschen ein. Man kann an der Hand drei Greifformen, die von zur VERTH beschrieben wurden, unterscheiden. Man bezeichnet sie als die "primären Greifformen der Hand".

1. Der Spitz- oder Feingriff

Er wird gebildet zwischen der Kuppe des Daumens und der Kuppe des Zeigefingers.

2. Der Breit- oder Grobgriff

Darunter versteht man den kräftigen Faustschluß, wobei der Daumen zur Unterstützung über die Langfinger gelegt wird.

3. Der Schlüsselgriff

Er wird gebildet zwischen der Kuppe des Daumens und der Phalanx media des Zeigefingers.

Bei schweren Verletzungen an der Hand werden diese Greifformen oft gestört bzw. unmöglich gemacht. Der Verletzte entwickelt physiologische Ersatzgreifformen. Diese neuen Greifformen von G. ZRUBECKY erstmals beschrieben, werden als "secundäre Greifformen" bezeichnet.

Diese sind:

1. der sekundäre Spitz- oder Feingriff

Er wird beim Fehlen des Zeige- und Mittelfingers zwischen der Daumenkuppe und der Ring- und Kleinfingerkuppe gebildet.

2. der seitliche Fingerschlußgriff

Der seitliche Fingerschlußgriff besteht darin, daß die Verletzten beim Fehlen des Daumens und des I. Mittelhandknochens durch den seitlichen Langfingerschluß greifen.

3. der streckseitige Zangengriff

Er wird gebildet zwischen dem vom N. radialis streckseitig versorgten Daumen und Zeigefingeranteil, bei einer Durchtrennung der volaren Nerven. Dieser sekundäre Griff wird unter Kontrolle der Augen ausgeführt.

4. der streckseitige Fingerschlußgriff

Kommt es zu einem Verlust des Daumens, zweier Langfinger und des Hautgefühls der verbliebenen Finger, greifen die Verletzten mit der Streckseite der unversehrten beiden Finger.

SPEZIELLER TEIL

DIE BEDEUTUNG DER SENSIBILITÄT FÜR DIE HAND

Aufgrund der Vielzahl von Muskeln, Sehnen und Gelenken und des Tastsinnes erlaubt die Hand eine Reihe von hochdifferenzierbaren Bewegungen auszuführen. Vier Grundarten des Hautgefühls lassen sich unterscheiden: der Schmerzsinn, die Berührungsempfindung, der Kälte- und Wärmesinn. Jede dieser Gefühlsmodalitäten verfügt über einen eigenen Rezeptorenapparat. Werden beim Betasten eines Gegenstandes die sensiblen Endorgane aller vier Gefühlsmodalitäten gereizt, entsteht ein komplexer Tasteindruck, den man als "tactile Gnose" bezeichnet.

Die Erregung läuft über die sensiblen Nerven zum Rückenmark und wird dort einerseits durch den Ramus communicans auf die sympathischen Fasern umgeschaltet, andererseits läuft die Erregung über die aufsteigenden Bahnen des Rükkenmarks zur Großhirnrinde.

Voraussetzung für das Vorhandensein von tactiler Gnose an der Hand ist demnach erstens die Reizung aller vier Gefühlsmodalitäten, zweitens die Funktion der Großhirnrinde und drittens die Funktionstüchtigkeit der peripheren sensiblen Nerven.

Während der motorische Anteil der Hand deutlich in seiner Funktion sichtbar wird, ist die Sensibilität dagegen um so schwieriger zu erfassen. Für den funktionellen Gebrauchswert der Hand stellt aber gerade die Sensibilität den ausschlaggebenden Faktor dar, denn erst das Gefühl in Verbindung mit dem motorischen Anteil garantiert die "funktionelle Einheit der Hand".

Wie wichtig die Sensibilität an der Hand für den Menschen ist, wird an der prothetischen Handversorgung deutlich. Selbst eine technisch vollkommene Handprothese wird immer den großen Nachteil aufweisen, daß sie mit keinerlei Gefühl ausgestattet ist. Die lebende Hand, die mit normaler tactiler Gnose versehen ist, vermittelt auch bei geschlossenen Augen ein genaues Bild über die getasteten Gegenstände. Die einmalige Bedeutung des Tastsinnes der Hand findet bei dem Blinden eine besondere Würdigung, denn obwohl diese Menschen ihre Sehkraft verloren haben, sind sie doch in der Lage, dank der vorhandenen tactilen Gnose ihrer Hände überaus komplizierte und feine Arbeiten auszuführen.

Von vielen namhaften Autoren wurde in den vergangenen Jahrzehnten und auch heute immer wieder auf die elementare Wichtigkeit des Tastsinnes hingewiesen. Vor allem L. KREUZ hat bei der operativen Wiederherstellung schwerst-

geschädigter Hände das Vorhandensein von ausreichendem Hautgefühl für den späteren funktionellen Gebrauchswert der Hand in den Vordergrund gestellt. Fehlendes Hautgefühl setzt die Hand in ihrer Leistungsfähigkeit weit mehr herab als motorische Störungen, denn dank der entwickelten Operationsmethoden ist es fast immer möglich, dem Verletzten eine neue Greifform zu schaffen, während die operative Resensibilisierung ein weit schwereres Problem darstellt.

Für die operative Wiederherstellung verletzter Hände ist es unerläßlich, ein genaues Bild von der noch vorhandenen tactilen Gnose zu bekommen. Die bisher gebräuchlichen Untersuchungsmethoden waren ausschließlich abhängig von den subjektiven Angaben des Patienten. Erst durch E. MOBERG wurde ein absolut objektiver Sensibilitätstest zur Feststellung der Funktionstüchtigkeit der peripheren sensiblen Nerven an der Hand geschaffen. Da das Hautgefühl für die funktionelle Leistungsfähigkeit der Hand an der Beugeseite der Fingerkuppen lokalisiert ist, beschränken sich die Untersuchungsmethoden auch auf diese Regionen.

METHODEN ZUR PRÜFUNG DER SENSIBILITÄT

Man unterscheidet zwischen drei verschiedenen Methoden zur Prüfung der Sensibilität an der Hand.

1. Die subjektiven Sensibilitätsteste.
2. die funktionellen Sensibilitätsteste,
3. die objektiven Sensibilitätsteste.

zu 1) Bei dieser Untersuchungsmethode wird die Fingerbeere des Patienten mit einem spitzen und einem stumpfen Gegenstand berührt, wobei dem Patient die Zuhilfenahme der Augen untersagt wird. Damit ist die Aussage des betreffenden Patienten allein abhängig von dem wahrgenommenen Reiz. Den Temperatursinn stellt man mittels kalter und warmer Reagenzgläser fest. Ein sehr genaues Untersuchungsergebnis liefert die SEDDON'sche Münzenprobe, das Schreiben von Zahlen und der WEBER'sche Tastzirkelversuch, da bei diesem Test nicht allein das Vorhandensein von normalem Hautgefühl geprüft wird, sondern auch die funktionelle Leistungsfähigkeit der verletzten Hand.

zu 2) Für die Einschätzung des tatsächlichen Gebrauchswertes der Hand war es notwendig, eine Möglichkeit zu finden, die Aussagen des Verletzten durch eine funktionelle Untersuchungsmethode zu beweisen. E. MOBERG ließ deshalb seine Patienten Münzen, Schrauben, Nägel etc. aufnehmen und in eine Schale legen.

G. ZRUBECKY entwickelte diese Methode weiter zum "funktionellen Münzentest". Mit diesem Test ist es möglich, Aussagen über die tactile Gnose zu machen und damit letztlich eine Aussage über den funktionellen Gebrauchswert der Hand.

Durchführung der Methode:

Dem Patienten werden Geldstücke von verschiedener Größe und verschiedenem Gewicht auf einer glatten Unterlage vorgelegt. Daraufhin wird der Patient veranlaßt, unter Kontrolle des Auges mit der unverletzten und dann mit der verletzten Hand die Münzen aufzunehmen. Dann wiederholt sich das gleiche ohne Kontrolle des Auges, wobei der Patient die Münzen der Reihenfolge nach in Gewicht und Größe aufnehmen soll.

Dieser Versuch gibt ein genaues Bild von der funktionellen Leistungsfähigkeit. Einen Aufschluß über eine etwaige Resensibilisierung bzw. eine genaue Abgrenzung der entnervten Hautabschnitte erhält man jedoch auch mit diesem Test nicht.

DIE OBJEKTIVEN SENSIBILITÄTSTESTE

1. Allgemeiner Überblick über die bisherigen objektiven Sensibilitätsteste

1927 entwickelte der Russe MINOR den Jod-Stärketest. Er wollte damit weniger die Sensibilität der Hand nachweisen, als einen Aufschluß über die Physiologie der Schweißdrüsen-Sekretion gewinnen. Anfangs benutzte er Rodamin, das seine dunkelgrüne Farbe sofort verliert unf in grellrot übergeht, sobald es angefeuchtet wird. Später stellte er dann eine Mischung von Jod, Ricinus und Spiritus her und brachte diese Substanzen mittels eines Pinsels auf die Haut. Daraufhin puderte er mit Stärke gleichmäßig dick die Haut nach und verabreichte dem Patienten schweißtreibende Mittel. Nach kurzer Zeit erschienen schwarze Punkte, die dann immer großflächiger wurden und verwischend ineinander übergingen. MINOR stellte bei seinen Testen fest, daß bei Verletzungen der peripheren sensiblen Nerven anhydrotische Bezirke entstehen, d.h. daß keine Schweißsekretion erfolgte. Durch die Unterbrechung der sensiblen Nerven gelangt der in der Peripherie rezipierte Reiz nicht mehr zum Rückenmark. Folglich findet dort auch keine Umschaltung auf die sympathischen Fasern statt, so daß die Schweißdrüsen nicht zur Sekretion angeregt werden. Damit war zum erstenmal ein objektiver Nachweis

für eine Verletzung der sensiblen Nerven geschaffen.

1940 entwickelte GUTTMANN eine neue Methode mit Chinizarin. Mit diesem Test konnte er Sensibilitätsverluste großer Hautbezirke darstellen und stellte damit "das Schweißbild des Menschen" auf.

1943 stellten RICHTER und KATZ fest, daß eine physiologische funktionstüchtige Haut einen anderen elektrischen Widerstand zeigt gegenüber einer entnervten Haut, da der Feuchtigkeitsgehalt durch die fehlende Schweißsekretion verändert ist. Sie nannten diese Untersuchungsmethode Dermometrie.

1951 untersuchte KAHN unter dem Mikroskop schwitzende Haut und konnte damit wiederum unterscheiden zwischen funktionstüchtiger und entnervter Haut.

1953 brachten SEDDON, MEDOWAR und SMITH den GUTTMANN'schen Chinizarin-Test zur Anwendung bei der Prüfung der Regeneration der Sensibilität von Nervennähten. Es erwies sich aber, daß diese Teste kein genaues Bild ergaben, da die aufgetragene Farbe zu sehr streute.

1954 modifizierte DORSCHEID den Test von MINOR. Er verwandte zwei Teile Jod, 75 Teile Äther und 100 Teile Weizenstärke. Diesen Puder hatte er auf die Haut aufgeblasen und erhielt eine sofortige Blaufärbung. DORSCHEID kam es bei der Untersuchung seiner Patienten mehr auf die Feststellung von hyperhydrotischen Hautbezirken an.

Eine große Anzahl von Physiologen, Physikern und Ärzten beschäftigten sich weiterhin noch mit der Untersuchung der Schweißdrüsenfunktion vom physiologischen Gesichtspunkt aus.

PARISIUS brachte die Kapillarmikroskopie der Schweißdrüsenausführungsgänge heraus. JÜRGENSEN entwickelte eine vitale Kontrastfärbung schwitzender Hautporen. SCHÖLMERICH und HILDEBRANDT stellten Messungen der lokalen Hautwasserabgabe der wechselnden Leitfähigkeit eines Halbleiterkristalles an. KARITZKI, RABE und MEISSNER stellten die Titrationsacidität und den ph. kleinster Schweißmengen fest.

Die zuvor genannten Methoden zur Untersuchung der Sensibilität beinhalten alle einen großen Nachteil. Es ist mit diesen Farbtesten nicht möglich, einen exakten Unterschied zwischen den physiologischen und gefühllosen Hautabschnitten zu treffen. Die Farben streuen einerseits zu sehr, andererseits sind die Teste für den Patienten in der Ausführung unangenehm. Aus diesem Grund entwickelte E. MOBERG das "Druck-Testen", welches die Jod-Stärkemethode und die Ninhydrin-Methode beinhaltet.

JOD-STÄRKE-METHODE

Die Jod-Stärkemethode geht auf den Test von MINOR zurück, der jedoch wiederholt verbessert wurde.

1953 modifizierte RANDALL den Test dahingehend, daß er die Stärke in das Testpapier brachte und dann den Abdruck vornahm.

Im gleichen Jahr nahmen DOLE und THAYSSEN das Verfahren auf, jedoch präparierten sie das Papier auch noch mit Jod. Dadurch entstanden beim Abdruck sofort blaue Flecke auf dem Papierstreifen. Der Farbeffekt beruht auf dem Wassergehalt des Schweißes. Die Größe der Farbflecke entspricht dem ausgeschiedenen Wasser.

1958 modifizierte E. MOBERG diese Methode bis zum heutigen Jod-Stärke-Test.

DIE NINHYDRIN-METHODE

1. Allgemeiner histologischer Aufbau der Haut

Die Haut läßt sich in drei große Schichten differenzieren, in die Subcutis, in das Korium und in das Epithel.

Die Subcutis ist aufgrund ihres Systems von bindegewebigen Kammern, die mit Fett gefüllt sind, für die Verschieblichkeit gegenüber der Unterlage verantwortlich.

Das Korium läßt ein Stratum papillare und ein Stratum reticulare unterscheiden. In diesen Schichten findet man die Schweißdrüsen, die Talgdrüsen, die Haare, die Blutgefäße und die Nerven (Abb. 1).

Die Epidermis gliedert sich in ein Stratum corneum und in ein Stratum germinativum. Die Keimschicht enthält Glykogen, Keratohyalinkörper, Tonofibrillen, freie Nervenendigungen und in den Interzellularlücken die Epithellymphe (Abb. 3).

2. Die Drüsen der Hohlhand

In der Hohlhand kommen nur Schweißdrüsen vom Typ einer ekkrinen, tubu-

lösen Einzeldrüse vor. Die Sekretion ist merokrin. Die Schweißdrüse besteht aus dem ausführenden Teil und dem sezernierenden Endstück.

Der Ausführungsgang windet sich korkenzieherartig durch das Stratum corneum, um auf der Papillarleiste an der Oberfläche mit der Schweißpore zu enden (Abb. 2). Das sezernierte, stark saure Sekret ergießt sich dann von den Papillarleisten in die Papillarfurchen und bekommt so eine größere Oberflächenwirkung, d.h. die Möglichkeit, bedeutsam in die Wärmeregulation einzugreifen.

Bei der Betrachtung der Volarfläche der Hand schon mit einem unbewaffneten Auge fallen die feinen Papillarleisten und -furchen auf. Sie stellen ein jeweils typisches Erbmerkmal dar. Diese Feststellung findet in der Daktyloskopie eine wichtige erbbiologische Auswertung (Abb. 4).

3. Die Innervation der Schweißdrüsen

Die Innervation der Schweißdrüsen erfolgt durch das vegetative Nervensystem. Die vegetativen Nerven gesellen sich in ihrem Verlauf den zerebrospinalen Nerven zu und bilden um sie herum Geflechte. Gemeinsam innervieren sie dann die glatte Muskulatur und die Drüsen der Haut. Die wichtige Funktion, die die Schweißdrüsen in dem Wärmehaushalt des Körpers einnehmen, verlangt einen hochdifferenzierten und fein abstimmbaren nervösen Mechanismus. Diese Regulationsvorgänge sind nur möglich durch die antagonistische Innervation, d.h. das Wechselspiel zwischen fördernden und hemmenden schweißsekretorischen Fasern. Der Ursprung der sympathischen Fasern liegt im 8. - 3. Lendensegment, in der Seitensäule und in der Zona intermedia des Rückenmarks. Sie verlassen das Rükkenmark durch die Radix ventralis. In den Nervus spinalis gelangt, ziehen sie durch den Ramus communicans zu den paravertebralen Grenzstrangganglien. Ein Teil geht dann die Verbindung durch den Ramus communicans griseus zum Spinalnerven ein.

Die sensiblen Segmentbezirke befinden sich nicht an gleicher Stelle wie die sympathischen Ursprungsbezirke. Sie weichen dagegen umso mehr von einander ab, je näher die betreffende Hautzone dem unteren oder oberen Körperende liegt.

Aufgrund der geschilderten anatomischen Substrate spricht man auch von einem "vegetativen Hautreflex" - einem Reflexbogen. Dabei besteht der afferente Schenkel aus dem sensiblen Nerven, der durch die Radix dorsalis in das Rückenmark eintritt und mit dem vegetativen Zentrum eine Verbindung eingeht. Der efferente Schenkel läuft für die schweißfördernden Fasern über die Radix ventralis zum Spinalnerv unter Einschluß der sympathischen Bestandteile, für die schweiß-

hemmenden Fasern über die Radix dorsalis zum peripheren Nerven. Der adäquate Reiz für die Schweißsekretion ist die Wärme.

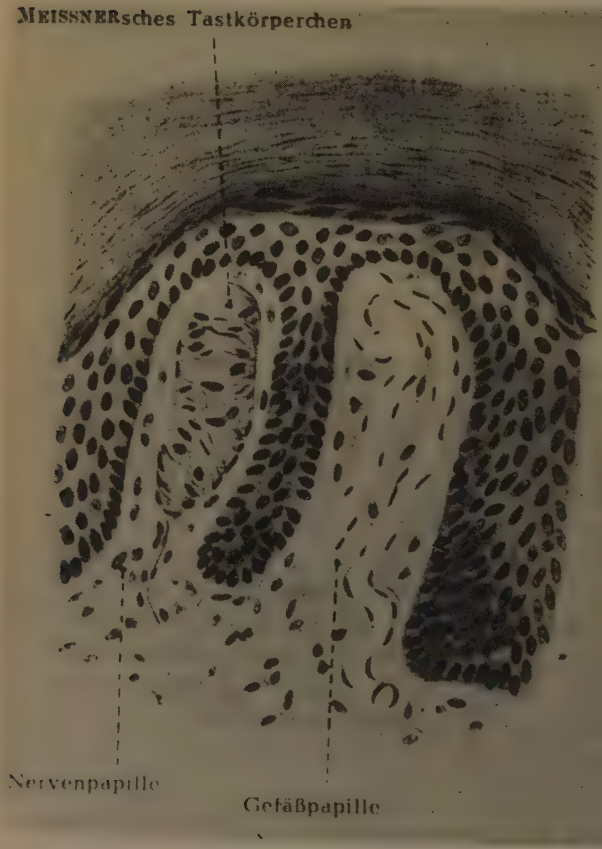


Abb. 1

Abb. 2

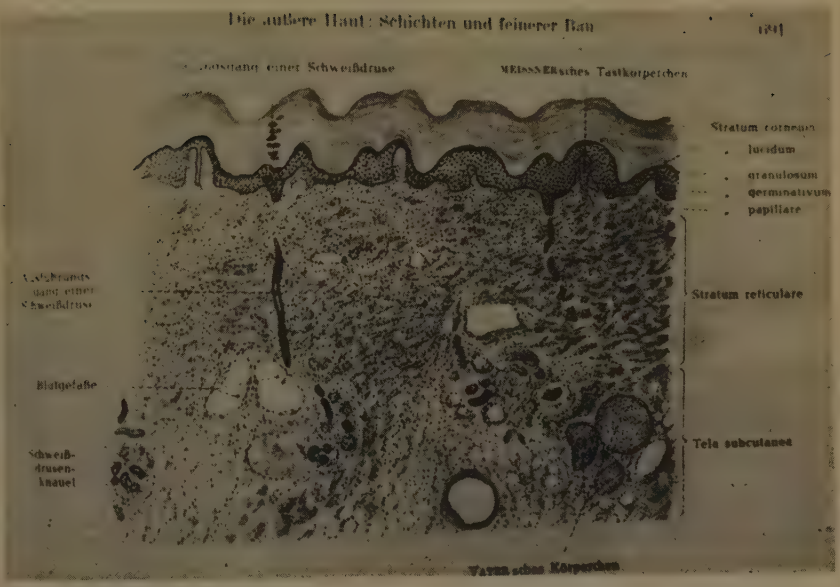

Die äußere Haut: Schichten und feinerer Bau
Stratum corneum
. lucidum
. granulosum
. germinativum
. papiliare
Stratum reticulare
Tela subcutanea
Blutgefäße
Schweiß-
drusen-
knauel

Abb. 3

Abb. 4

4. Die chemische Zusammensetzung des menschlichen Schweißes

Folgende Aminosäuren sind im menschlichen Schweiß vorhanden:

Arginin	13.58	±	3.92
Histidin	8.02	±	0.97
Isoleucin	2.27	±	0.66
Leucin	2.69	±	0.77
Lysin	2.26	±	0.45
Phenylalanin	2.19	±	0.63
Threonin	5.38	±	1.84
Tryptophan	1.12	±	0.33
Tyrosin	3.15	±	0.95
Valin	2.26	±	0.75

Die Angabe der Konzentrationen erfolgte jeweils in mg je 100 cm^3. Ferner finden sich im menschlichen Schweiß Kreatinin, Milchsäure, Glucose, Aceton, Phenole, Carotin, Aneurin, Ascorbinsäure und Glutaminsäure.

Diese Aminosäuren wurden 1953 zum Teil von PANKOW entdeckt.

1955 gelang es KRAL und ZENIAK nachzuweisen, daß die Aminosäurenkonzentration im Schweiß bei starker Beanspruchung zunimmt. Die Tatsache, daß Ninhydrin den Schweiß färbt und daß ein Fingerabdruck auf einem Papier noch Jahre später färbbar ist, veranlaßten ODEN und HOFSTEN den Test kriminologisch auszuwerten.

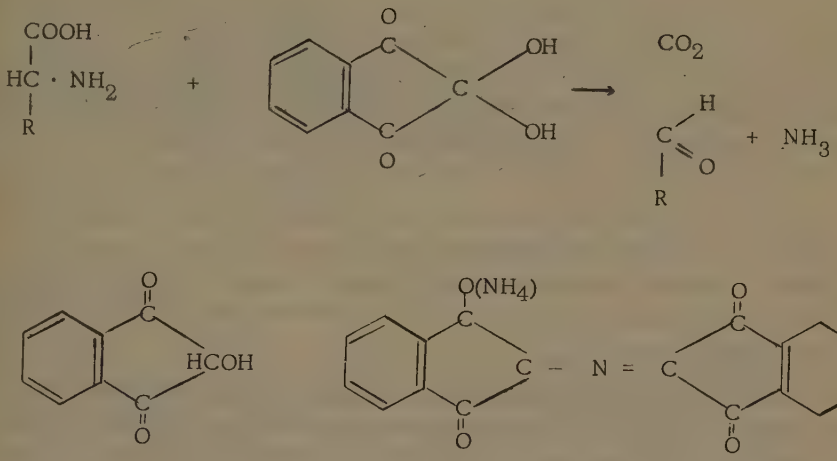
Diese Erkenntnis und die Erkenntnis, daß die Sekretion der Schweißdrüsen erst dann möglich ist, wenn der zuvor beschriebene vegetative Hautreflex funktioniert, veranlaßte MOBERG, den Ninhydrin-Test zu übernehmen und für die Sensibilitätsprüfung an der Hand zu modifizieren.

5. Die chemische Reaktion

Der Ninhydrin-Test beruht auf der Reaktion zwischen den im Schweiß enthaltenen Aminosäuren mit dem Ninhydrin. Alle α -Aminosäuren geben mit Ninhydrin eine Farbreaktion, wenn die Lösung neutral ist und erwärmt wird. Die erhaltene Farbe ist blau - bis blau-violett.

Ninhydrin ist ein Triketohydrindenhydrat. Auf Grund der vorhandenen konju-

gierten Doppelbindungen -c= ist diese Farbreaktion erst möglich, ähnlich wie man sie auch bei Carotinoiden findet. Bei dieser Reaktion wird die α -Aminosäure durch das Ninhydrin zu einem um 1C-Atom ärmeren Aldehyd oxydiert, wobei 1 Mol CO_2 freigesetzt wird. Das dabei reduzierte Ninhydrin setzt sich mit dem NH_3 und einem 2. Mol Ninhydrin zu einem Farbstoff um, der dann als Ammoniumsalz vorliegt. Diesen Prozeß bezeichnet man als eine oxydative Desaminierung.



6. Die technische Durchführung der Ninhydrin-Methode

Die Voraussetzung für einen gut zu diagnostizierenden Test ist die saubere und sorgfältige Anfertigung der Fingerabdrücke. Die zu testende Hand gehört einer gründlichen Inspektion unterzogen. Stark verschwielte, verarbeitete Hände geben meist ohne Vorbereitung keinen oder einen nur ungenügenden Test, da durch die dicke Hornhaut die Schweißsekretion gehemmt wird. Es ist deshalb sehr zu empfehlen, derartige Hände vorher in Seifenlösungen zu baden, um damit etwaig vorhandenen Schmutz zu entfernen, sowie die Haut für den Schweiß besser durchgängig zu machen. Danach sollte man jedoch eine gewisse Zeit verstreichen lassen, bis die Haut wieder mit Schweiß normal bedeckt ist. Sollte auch nach einer derartigen Behandlung keine Schweißsekretion erfolgen, empfiehlt es sich, schweißanregende Mittel zu geben (z. B. heißen Tee oder Salicylsäure). Einfacher jedoch ist es, den Patienten zu veranlassen, die Hände für einige Zeit unter einen Schwitzkasten zu legen. Zu stark schwitzende Hände ergeben allerdings ein verwaschenes und damit ebenfalls schlecht verwertbares Bild.

Der Erfahrene wird schon nach kurzer Zeit in der Lage sein, eine richtige Vorbereitung zu treffen. Ein einfaches Mittel, um über die Haut in ihrer Beschaffenheit Auskunft zu bekommen, ist, daß der Untersuchende dem Patienten die Hand gibt und schon damit über die Sekretionstüchtigkeit der Drüsen einigermaßen informiert ist.

Zur Durchführung des Testes benötigt man einen Streifen Papier in einer Größe von 5 x 30 cm. Das Papier darf keinen tierischen Leim enthalten. Es darf auch nicht mit Farbstiften oder Tinte beschrieben werden, da sonst bei der Entwicklung der Test verwischt wird. Die Papierstreifen müssen so aufgehoben und verwendet werden, daß kein unerwünschter Abdruck durch eine andere Hand entstehen kann. Bei dem Test einer durch keine Beugekontrakturen oder in ihrer Beweglichkeit anders eingeschränkten Hand geht man am zweckmäßigsten so vor: Man bringt den Papierstreifen auf eine harte Unterlage, drückt dann einige Sekunden lang die Fingerkuppen einzeln und fest auf das Papier. Die noch aufliegende Fingerkuppe wird mit einem Bleistift umrandet, und zwar bei der rechten Hand in der Reihenfolge Finger I - V, an der linken Hand von Finger V - I, jeweils von links nach rechts. Dadurch kann es später nie bei einer versehentlich unterlassenen Beschriftung zu einer Verwechslung von linker und rechter Hand kommen.

Um die vom Nervus radialis innervierten Randbezirke des Daumens auch zu erfassen, rollt man den Daumen ab und umrandet dabei genau. Damit man eine Vergleichsmöglichkeit zwischen gesunder und verletzter Hand hat, ist es erfor-

derlich, beide Hände zu testen. Der Abdruck der kranken Hand wird dann besonders markiert.

Bei einer durch eine Verletzung in ihrer Beweglichkeit eingeschränkten Hand ist es oft sehr schwierig, gute Abdrücke zu erhalten. Hinzu kommt oft die starke Schmerzhaftigkeit der jeweils verletzten Finger. In diesem Fall benutzt man am besten ein Brettchen, das in Länge und Breite dem Teststreifen entspricht. Das Papier wird darauf angebracht und mit einigen Reißzwecken fixiert. Dann bringt man das Brett in die Hohlhand ein, so daß die Fingerkuppen auf den Papierstreifen zu liegen kommen und drückt diese darauf ab. Es ist jedoch nicht immer möglich, mit diesem Verfahren einen exakten Abdruck zu erhalten. Beträgt der Fingerkuppenhohlhandabstand nur noch 1 cm oder ist er praktisch völlig aufgehoben, verwendet man am zweckmäßigsten eine Testschiene aus Kunststoff, deren Ränder aufgeworfen sind, so daß ein Papierstreifen eingeführt werden kann. Der Abdruck kann jetzt von jeweils einem Finger vorgenommen werden, ohne daß dabei dem Patienten unnötige Schmerzen bereitet werden.

Um eine Kissendruckoberfläche zu erhalten, wird vorher in die Schiene ein Lederstreifen eingeführt (Abb. 5)

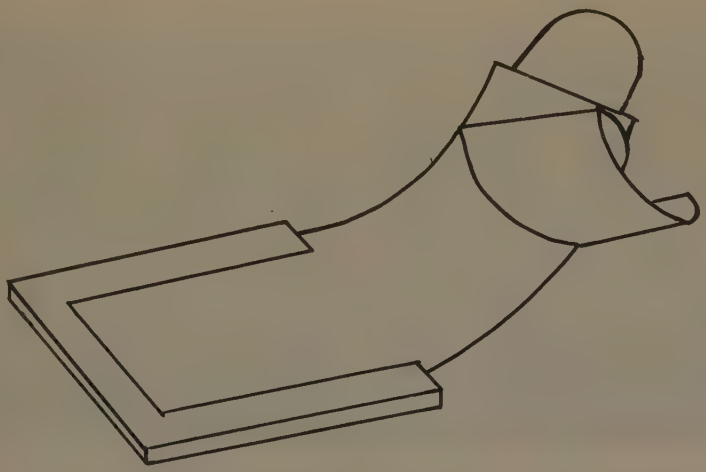


Abb. 5

Die Entwicklung und Fixation der erhaltenen Abdrücke geht technisch folgendermaßen vor sich. Man bereitet in einer Petrischale eine Mischung von 5 ccm Ninhydrin (1,0) und Aceton (125,0) vor und gibt 3 Tropfen Eisessig dazu. Dann schwenkt man den Teststreifen ca. 30 Sekunden durch die Lösung und läßt ihn anschließend lufttrocknen. Schon jetzt beginnen sich deutlich die Fingerabdrükke abzuzeichnen. Um die Reaktion des Ninhydrins mit den Aminosäuren zu beschleunigen, gibt man den Test noch für 5 Minuten in den Heißluftsterilisator bei einer Temperatur von 100 - 110°. Nach etwa 72 Stunden kann man die Abdrücke fixieren. Das geschieht in einer Lösung von Cupri nitrat 2,5, Aquadest 12,5, Acid.nitrici 2,5 und Aceton 250,0, indem man den Papierstreifen für ca. 15 Sekunden darin schwenkt. Die ehemalig blaue Farbe ist in rot übergegangen und bleibt über Jahre hinaus erhalten. Nach der Fixation hängt man die Teststreifen kurz zum Trocknen auf und zieht dann die anfangs umrandeten Bleistiftlinien der Fingerkuppen mit Tinte oder Tusche nach. Das ist vor allem deshalb notwendig, damit auch später noch genau die Randzonen z. B. beim abgerollten Daumen diagnostiziert werden können.

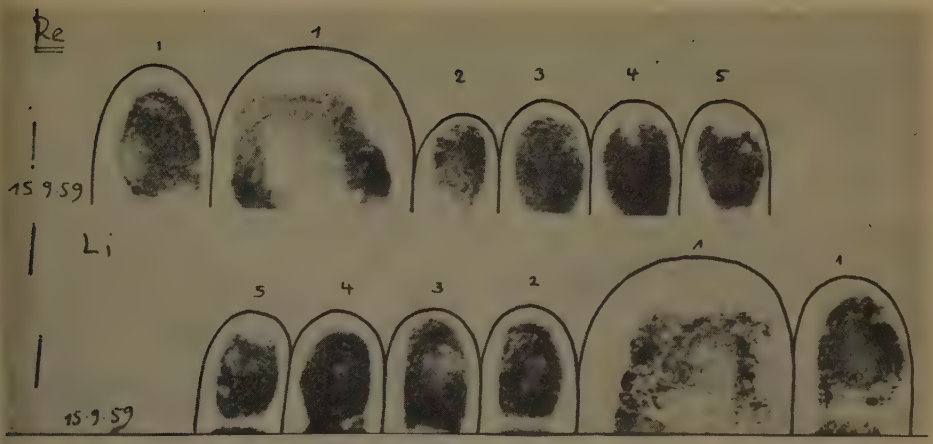


Abb. 6 Fingerabdruck bei normaler Schweißdrüsensekretion. Die Schweißdrüsenporen sind dicht und gleichmäßig über die Fingerkuppen verteilt und werden deutlich sichtbar. Der den Daumen streckseitig innervierende N. radialis läßt sich am abgerollten Daumen sehr gut diagnostizieren. Die Anzahl der zum Abdruck gelangten Schweißdrüsenausführungsgänge entspricht der Norm. Demnach sind alle Finger mit normaler tactiler Gnose versehen.

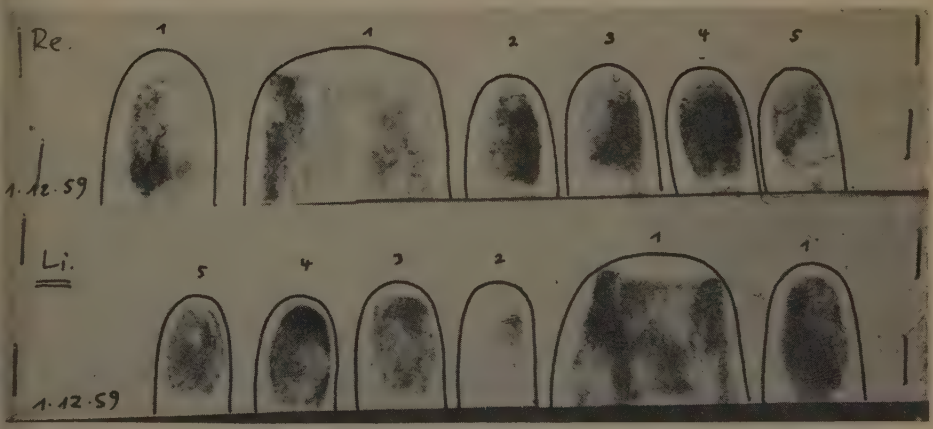


Abb. 7 Fingerabdruck bei einem Ausfall eines volaren Nerven am Zeigefinger. Der Fingerabdruck der rechten Hand zum Vergleich zeigt normale tactile Gnose. An der linken Hand sind ebenfalls sämtliche Finger mit normalem Hautgefühl versehen bis auf den ulnaren Kuppenanteil des Zeigefingers. Der volare ulnare sensible Nerv diese Fingers ist durchtrennt, folglich fällt die Schweißsekretion dieses Hautabschnittes aus und kommt nicht zur Darstellung. Der radiale Kuppenanteil des Zeigefingers ist mit normaler tactiler Gnose versehen.

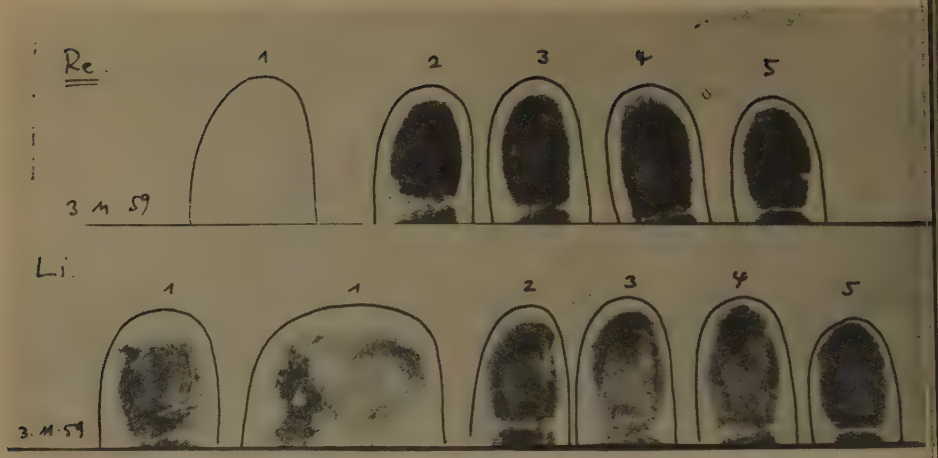


Abb. 8 Fingerabdruck bei der Durchtrennung beider volarer Nerven am Daumen. Das Hautgefühl der linken Hand zum Vergleich entspricht der Norm. An der rechten Hand sind der ulnare und radiale Nerv des Daumens durchtrennt. Das Hautgefühl fehlt. Das Hautgefühl der Langfinger entspricht der Norm.

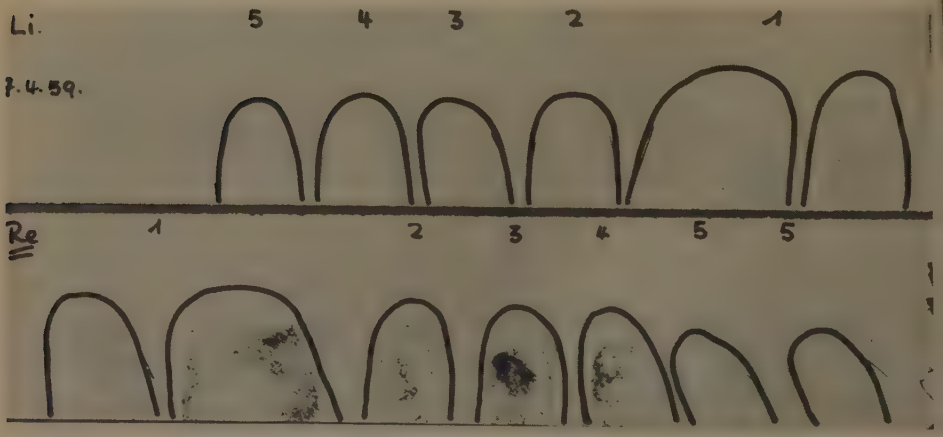


Abb. 9 Fingerabdruck bei einer vollständigen Ulnarislähmung. Das Hautgefühl der linken Hand zum Vergleich entspricht der Norm. An der rechten Hand fehlen die Abdrücke der Schweißdrüsenporen am 5. Finger und am ulnaren Teil des 4. Fingers. Der radiale Kuppenanteil des 4. Fingers sowie die übrigen Langfinger und der Daumen haben normales Hautgefühl, da sie vom N. medianus sensibel versorgt werden.

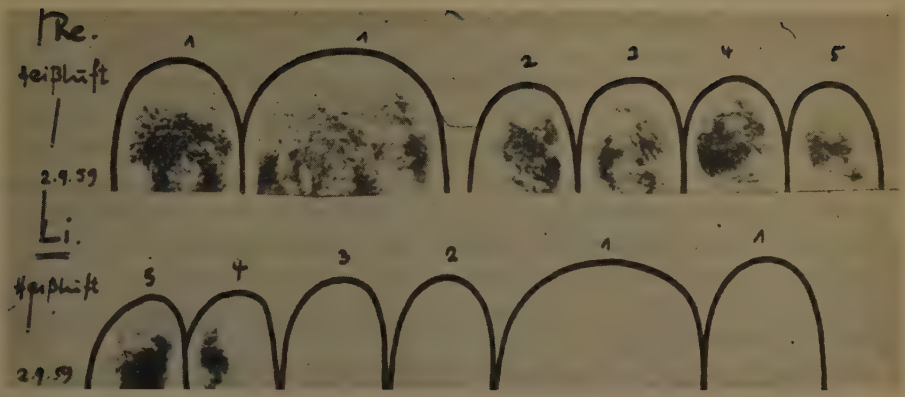


Abb. 10 Fingerabdruck bei einer vollständigen Medianuslähmung. Das Hautgefühl der rechten Hand zum Vergleich entspricht der Norm. Der Fingerabdruck der verletzten linken Hand zeigt, daß am Daumen, am Zeigefinger und Mittelfinger keine normale tactile Gnose mehr besteht. Der radiale Kuppenanteil des 4. Fingers weist ebenfalls keine Schweißdrüsensekretion mehr auf. Der ulnare Kuppenanteil desselben Fingers und der 5. Finger haben normales Hautgefühl, da sie vom N. medianus nicht sensibel innerviert werden, sondern vom N. ulnaris.

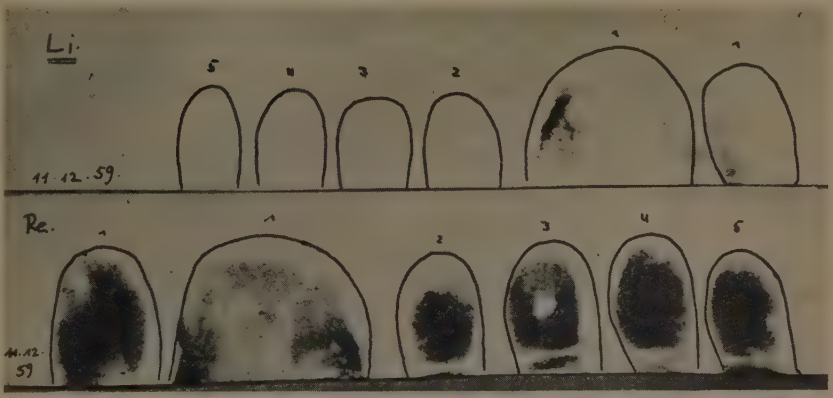


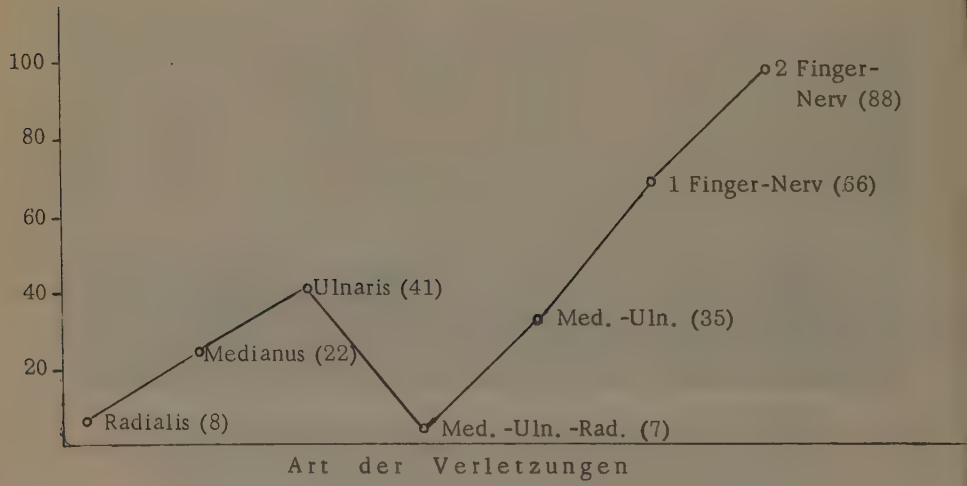
Abb. 11 Fingerabdruck bei einer vollständigen Medianus-Ulnaris-Lähmung. Das Hautgefühl der rechten Hand zum Vergleich entspricht der Norm. An der linken Hand sind sämtliche sensiblen volaren Fingernerven durchtrennt. Am abgerollten Daumen sind deutlich die vom N. radialis innervierten Randbezirke erkennbar.

DIE AUSWERTUNG DER AN DER BERUFSGENOSSENSCHAFTLICHEN KLINIK TÜBINGEN DURCHGEFÜHRTEN NINHYDRIN-TESTE

Wir haben bisher 698 Patienten mit der Ninhydrin-Methode testen können. Bei der Untersuchung der Sensibilität wurde nicht nur der Ninhydrin-Test angewandt, sondern auch der von G. ZRUBECKY entwickelte funktionelle Münzentest. Die beim Münzentest festgestellten funktionell unbrauchbaren Fingerkuppen wurden immer durch die gewonnenen Ergebnisse mit dem Ninhydrin-Test erhärtet. Sie stimmen weitgehend überein, wobei jedoch mit letzterem Verfahren genau die nicht mehr sensibel innervierten Hautbezirke angegeben werden konnten. Die Bestätigung des erhobenen Befundes mit dem Ninhydrin-Test wurde durch 122 operative Eingriffe erhalten.

Da die Patienten in regelmäßigen Abständen immer wieder getestet wurden, entstanden sehr aufschlußreiche Serien, die beeinflussend auf die ganze weitere Indikation waren.

Folgende graphische Darstellung soll ein Bild über die Art und Anzahl der untersuchten sensiblen Nervenverletzungen geben:



Dabei erwiesen sich 299 Teste als normal, 62 konnten nicht ausgewertet werden, da aufgrund technischer Fehler in der Durchführung der Sensibilitätsprüfungen die Teste eine genaue Diagnostizierung nicht zuließen. Weitere 70 Ninhydrin-Teste wurden an Fingerstümpfen vorgenommen [1].

DIE BESPRECHUNG VON 8 GESONDERTEN FÄLLEN IN VERBINDUNG ZWISCHEN DEM OPERATIONSBEFUND UND DEM ERHALTENEN NINHYDRIN-TEST

Fall 1: 35-jähriger selbständiger Landwirt

Am 4.4.1959 brachte der Verletzte die Hand beim Säen in die Kurbel am Säksten. Dabei zog sich der Patient eine schwere Weichteilverletzung der rechten Hand zu mit starker Quetschung und Zerstörung der Daumenballenmuskulatur, sowie der beugeseitigen Daumennerven. Weiterhin eine Rißverletzung an der Greiffläche des Ringfingers mit Eröffnung der Beugesehnenscheide und teilweiser Quetschung der Fingernerven und Durchtrennung der Beugesehnen. Der Verletzte wurde am gleichen Tage in der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen operativ versorgt.

Während der Operation stellte sich heraus, daß beide Daumennerven, vor allem der radiale, stark gequetscht waren. Der gleiche Befund wurde am Ringfinger erhoben. Am 11.12.1959 wurde der Patient zu einer ambulanten Nachuntersuchung wieder einbestellt. Das Hautgefühl am Daumen war völlig zurückgekehrt. Am ellenseitigen Kuppenanteil des Ringfingers wurde das Hautgefühl vom Patienten als fehlend angegeben. Der klinisch erhobene Befund wurde voll und ganz durch den Ninhydrin-Test bestätigt. Aufgrund der einseitig bestehenden Hautgefühlsstörungen am Ringfinger wurde von einer sekundären Nervenrevision Abstand genommen (Abb. 12).

Fall 2: 26-jähriger Elektriker

Am 13.6.1958 erlitt der Patient einen Verkehrsunfall. Dabei zog sich der Verletzte eine Gehirnerschütterung, multiple Hautschürfwunden im Gesicht, eine Symphysensprengung, eine rechtsseitige Radius- und Kahnbeinfraktur und Luxationstrümmerfrakturen der Mittelhandknochen II - V zu. Die chirurgische Erstver-

---

1) Auf den Seiten sind in den Abbildungen 6-11 die am häufigsten vorkommenden sensiblen Nervenverletzungen, besonders beschrieben und photographisch festgehalten.

sorgung erfolgte außerhalb. Bei einer fachneurologischen Untersuchung wurde eine Neuritis des N. medianus und ulnaris festgestellt. Aufgrund der in Beugekontraktur stehenden Finger der rechten Hand wurde der Patient an die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur weiteren Behandlung am 16. 10. 1958 überwiesen.

Am 3. 11. 1958 wurden der N. medianus und ulnaris operativ dargestellt. Beide Nerven waren nicht durchtrennt, sondern narbig eingeschieden. Die während der stationären und späteren ambulanten Behandlung durchgeführten Ninhydrin-Teste ergaben ein deutliches Fehlen des Hautgefühles an der volaren Seite sämtlicher Finger der rechten Hand. Der am 11. 12. 1959 erhaltene Fingerabdruck läßt eine schwache Restitution des Hautgefühles am Daumen erkennen, die mit den subjektiven Angaben des Patienten übereinstimmt (Abb. 13).

Fall 3: 20-jähriger Maschinenschlosser

Am 15. 3. 1957 kam der Verletzte mit der rechten Hand in eine Hobelmaschine, wobei es zu einer schweren Quetschung und Zerreißung der Hand kam. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Dabei wurde der gesamte erste Fingerstrahl abgesetzt, ebenso der 4. und 5. Finger dicht proximal der Grundgelenke. Die Fingergelenke am 2. und 3. Finger wurden sämtlichst versteift. Am 17. 9. 1957 wurde der Patient zur weiteren Behandlung in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen überwiesen.

Am 27. 9. 1957 wurde eine Nervenrevision und eine freie Nervenplastik (N. suralis) sowie eine gestielte Lappenplastik durchgeführt. Am 5. 11. 1957 zeigte sich im Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG eine schwache Ausbildung von Schutzsensibilität. Am 22. 11. 1957 wurde der Patient vorübergehend entlassen. Am 7. 1. 1958 erfolgte die erneute stationäre Aufnahme mit dem Ziel einer Abspreizplastik für den Mittelfinger. Diese wurde am 15. 1. 1958 durchgeführt.

Am 16. 3. 1958 wurde das Heilverfahren abgeschlossen. Bei einer ambulanten Nachuntersuchung am 11. 12. 1959 zeigte der Ninhydrin-Test lediglich eine funktionell ausreichende Schutzsensibilität an der Beugeellenseite des Zeigefingers und an der Beugespeichenseite des Mittelfingers an. Um die subjektiven Angaben des Patienten objektiv zu festigen, wurde der 2. Finger von volar-ulnar nach dorsal-ulnar abgerollt. Der dabei erhaltene Fingerabdruck beweist die Richtigkeit der Aussagen des Patienten (Abb. 14).

Fall 4: 24-jähriger Elektro-Mechanikerlehrling

Am 15. 9. 1958 kam der Verletzte beim Zusägen von Hartpapier mit dem

linken Zeigefinger in die Kreissäge. Dabei kam es zu einer Durchtrennung beider volarer Fingernerven und der oberflächlichen und tiefen Beugesehne. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb.

Am 10.11.1958 kam der Patient in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur stationären Behandlung. Der am gleichen Tag durchgeführte Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG zeigt ein deutliches Fehlen des Hautgefühles am linken Zeigefinger. Die anderen Finger haben normale tactile Gnose (Abb. 15a). Am 13.11.1958 wurde eine sensible Ersatzoperation durchgeführt, da der für die primären Greifformen so wichtige Zeigefinger gefühllos war. Der ellenseitige Kuppenanteil des Mittelfingers wurde in Form eines gestielten Haut-Gefäß-Nerven-Transplantates auf den beugeseitigen Kuppenanteil des Zeigefingers übertragen. Die entstandenen Hautdefekte am Mittelfinger wurden durch einen Vollhautlappen plastisch gedeckt.

Die am 8.1.1959 und am 10.12.1959 durchgeführten Ninhydrinteste zeigen, daß der ellenseitige, mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckte Kuppenanteil des Mittelfingers gefühllos ist. Der radiale beugeseitige Kuppenanteil des Zeigefingers zeigt aufgrund der sensiblen Ersatzoperation normales Hautgefühl (Abb. 15b). In Gegenüberstellung der Sensibilitäts-Teste vom 10.11.1958 und 3.3.1959 wird die Bedeutung dieser sensiblen Ersatzoperation durch den Ninhydrin-Test besonders verdeutlicht (Abb. 15c).

Am 11.12.1959 kam der Patient zu einer ambulanten Nachuntersuchung. Dabei gab der Verletzte auf Befragen an, daß das Hautgefühl lediglich im verpflanzten Kuppenanteil des Zeigefingers besteht. Der beuge-ulnare Kuppenanteil des Zeigefingers ist nach wie vor gefühllos, wie auch die Entnahmestelle des Haut-Gefäß-Nerven-Transplantates am Ringfinger. Der am gleichen Tage durchgeführte Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG bestätigte die subjektiven Angaben des Verletzten (Abb. 15d).

Fall 5: 45-jähriger Arbeiter

Am 22.8.1959 erlitt der Patient eine schwere Starkstromverletzung. Der Strom trat in den linken Arm ein und am rechten Fuß aus. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Infolge der Verletzung war es zu einer Durchtrennung des N. medianus, ulnaris und radialis gekommen. Wegen der Folgezustände des Unfalles wurde der Verletzte am 22.9.1959 in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur weiteren Behandlung überwiesen.

In den Sensibilitäts-Testen nach E. MOBERG vom 22.9.1959 und 13.10.1959 wird der vollständige Ausfall des Hautgefühles an der linken Hand dargestellt. Die rechte Hand zum Vergleich zeigt normale tactile Gnose (Abb. 16).

Fall 6: 37-jähriger Landwirt

Am 21.12.1954 kam der Verletzte mit der linken Hand und dem linken Arm in eine Obstmühle. Dabei kam es zu einer vollständigen Durchtrennung des N. ulnaris im Bereich des Unterarmes. Sekundär war es dann durch die schwere Weichteilverletzung an der linken Hand zu einer Zwangsbeugekontraktur des Ring- und Kleinfingers und zu einer mittleren Beugekontraktur des Mittelfingers gekommen. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Am 7.1.1959 wurde der Verletzte in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen überwiesen.

Am 14.1.1959 wurde der Ellennerv operativ revidiert. Ferner wurden der Kleinfinger in Höhe des Mittelgekenkes abgesetzt, eine sekundäre Beugesehnennaht im Daumen und Mittelfinger und eine Beugesehnenplastik für den Ringfinger durchgeführt. Die zuletzt angefertigten Fingerabdrücke nach E. MOBERG ergeben noch immer das Bild einer Ulnarislähmung. Das Hautgefühl am linken Kleinfinger fehlt, während die übrigen Finger sowie die der rechten Hand zum Vergleich über normale tactile Gnose verfügen (Abb. 17).

Fall 7: 20-jähriger Hilfsarbeiter im Bergwerk

Am 10.7.1957 kam der Verletzte mit dem rechten Oberarm in ein Förderband. Dabei erlitt er einen Oberarmschaftbruch und eine vollständige Lähmung des N. radialis. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Dabei wurde der Speichennerv dargestellt, doch konnte die Abrißstelle nicht gefunden werden. Am 22.11.1957 wurde der Patient in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur weiteren Behandlung überwiesen.

Am 28.11.1957 wurde der Speichennerv dargestellt. Er konnte jedoch aufgrund des bestehenden 4 cm langen Defektes nicht genäht werden. Der bestehende 4 cm lange Defekt wurde durch einen Hautnerven, der aus dem körpernahen Oberarmdrittel gewonnen wurde, überbrückt. Am 18.9.1959 ist die Restitution des den Daumen streckseitig sensibel innervierenden N. radialis im Ninhydrin-Test deutlich zur Darstellung gekommen (Abb. 18).

Fall 8: 39-jährige Hilfsarbeiterin

Am 18.8.1958 kam die Patientin mit der linken Hand zwischen zwei Walzen. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb.

Am 2.12.1958 wurde bei einer ambulanten Untersuchung in der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen ein Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG an-

gefertigt. Der Abdruck ergab folgenden Befund: Stark veränderte Schweißsekretion der Finger II. -V. der linken Hand. Der Daumen zeigte eine normale Zahl und Dichte der Schweißdrüsenausführungsgänge. Das Hautgefühl am Zeige- und Kleinfinger entsprach der Norm. Am Mittel- und Ringfinger war das Hautgefühl stark herabgesetzt, hier bestand nur noch eine funktionell ausreichende Schutzsensibilität. Im Abdruck-Test erschienen die Schweißdrüsenausführungsgänge außer denen des Daumens stark verwischt und geklumpt. Die Zeichnung war unregelmäßig. Diese Erscheinung muß auf eine vegetative Störung entweder der Schweißdrüsen selbst oder der sympathischen Fasern zurückgeführt werden. Keiner der volaren Fingernerven wurde durchtrennt.

Am 7.1.1959 wurde die Patientin in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur stationären Behandlung überwiesen.

Am 15.1.1959 wurden die bestehenden narbigen Streckhemmungen am Klein- und Ringfinger operativ korrigiert.

Am 10.2.1959 wurde ein Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG angefertigt. Darin kommt zum Ausdruck, daß die Schweißdrüsenausführungsgänge wieder langsam punktförmiger und dichter werden. Die Hautgefühlsstörungen am Mittel- und Ringfinger halten jedoch unverändert an (Abb. 19).

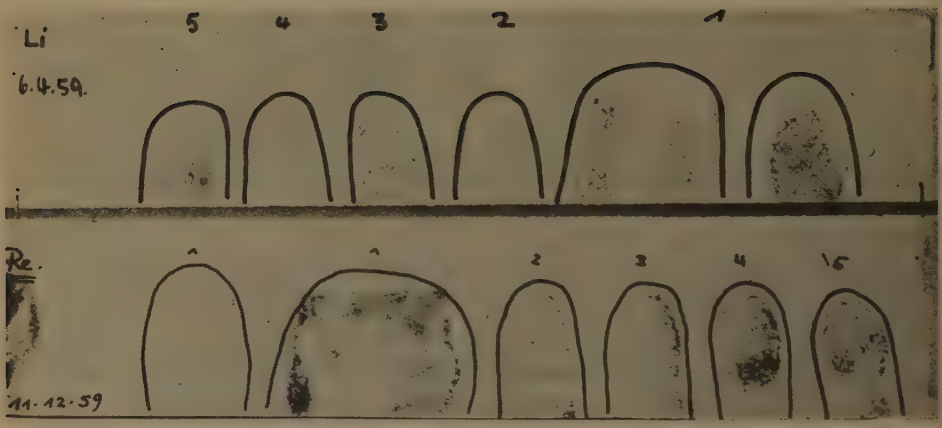


Abb. 12 Der ulnare Kuppenanteil des Ringfingers ist gefühllos. Die übrigen Finger der rechten Hand sowie die der linken Hand zum Vergleich verfügen über normale tactile Gnose.

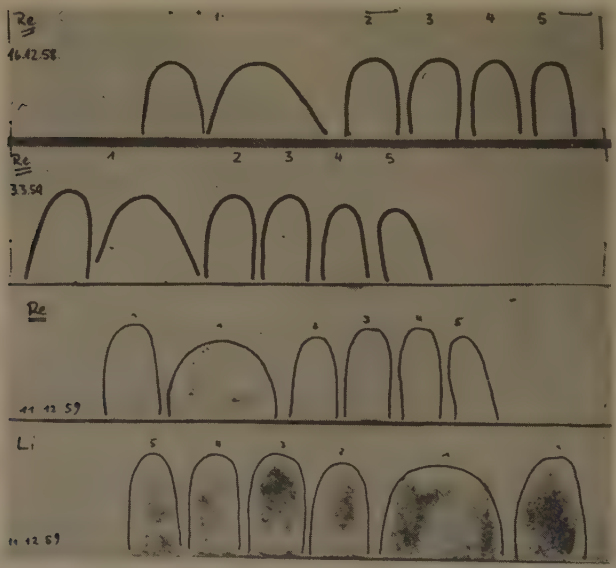


Abb. 13 Vollständiger Sensibilitätsausfall an allen Fingern der rechten Hand. Am 11.12.1959 ist es nach einer vorausgegangenen Revision des Mittel- und Ellennerven zu einer schwachen Restitution des Hautgefühls am Daumen gekommen.

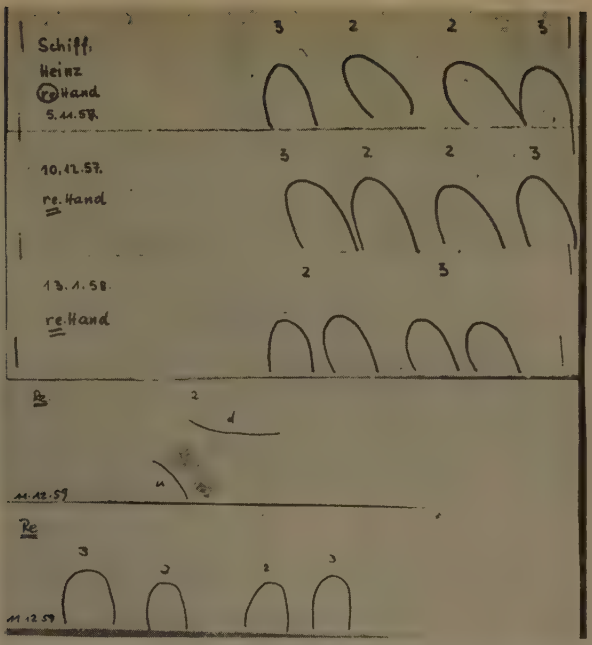


Abb. 14 An den getesteten Fingerkuppen besteht lediglich eine funktionell ausreichende Schutzsensibilität an der Beugeellenseite des 2. Fingers und an der Beugespeichenseite des 3. Fingers.

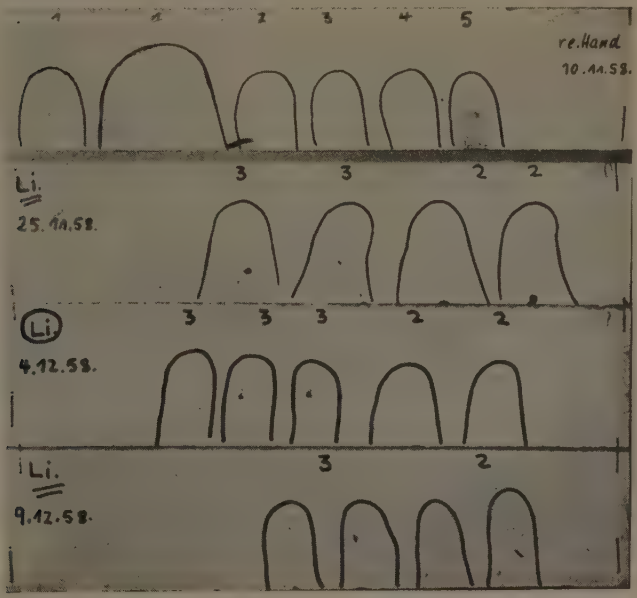


Abb. 15a An der Zeigefingerkuppe der linken Hand fehlt das Hautgefühl.

Abb. 15b Nach der Durchführung einer sensiblen Ersatzoperation zeigt der volare radiale Kuppenanteil des linken Zeigefingers normales Hautgefühl an, während der mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckte ellenseitige Kuppenanteil des 3. Fingers gefühllos ist.

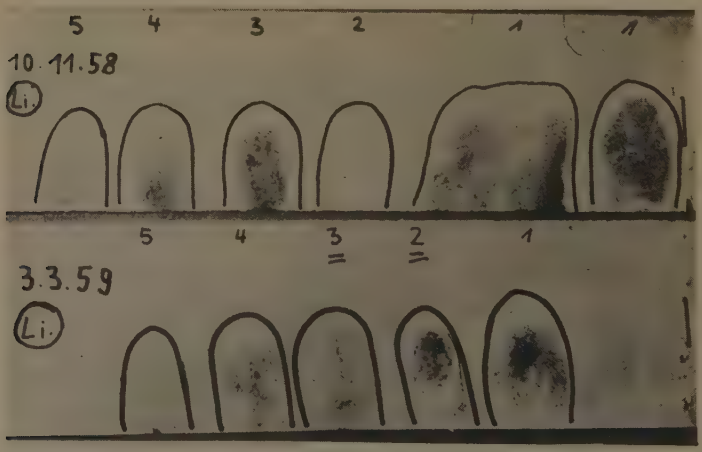


Abb. 15c Diese Abbildung zeigt den Zeigefinger der linken Hand vor und nach der sensiblen Ersatzoperation, sowie den durch die Entnahme des gestielten Hautgefäßnerventransplantates gefühllos gewordenen ellenseitigen Kuppenanteil des Mittelfingers. Die übrigen Langfinger sowie der Daumen verfügen über normale tactile Gnose.

Abb. 15d Der Sensibilitätstest vom 11.12.1959 zeigt, daß das Hautgefühl nach wie vor am Zeigefinger nur in dem verpflanzten Kuppenanteil vorhanden ist. Die rechte Hand zum Vergleich verfügt über normale tactile Gnose.

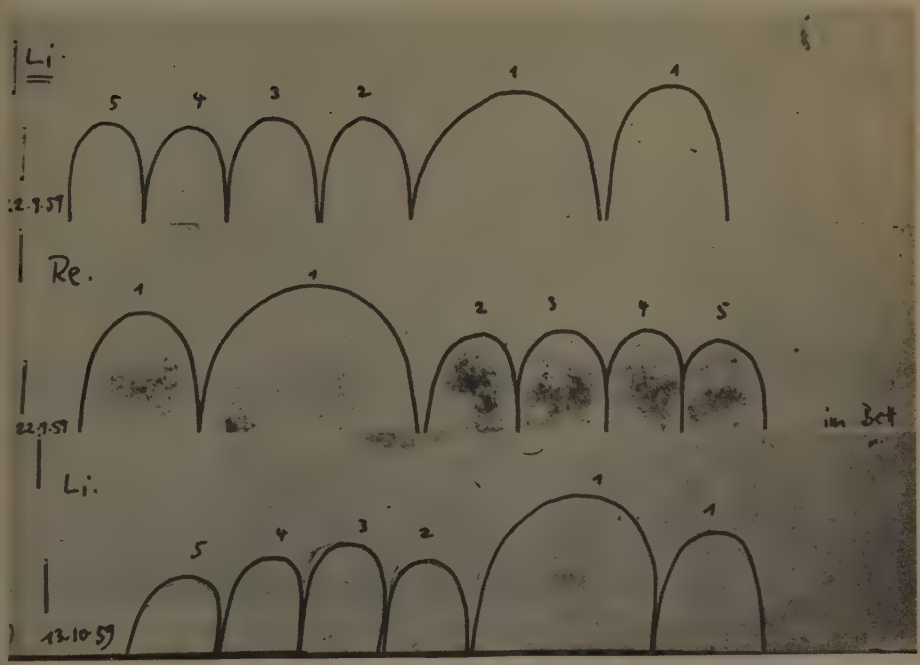


Abb. 16 Vollständiger Ausfall des Hautgefühles an der linken Hand. Die rechte Hand zum Vergleich verfügt über normale tactile Gnose.

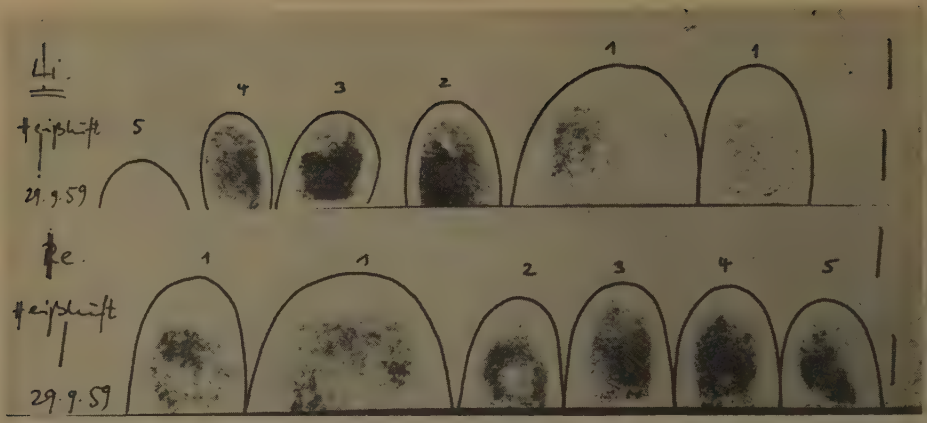


Abb. 17 Ulnarislähmung an der linken Hand. Am Kleinfinger fehlt das Hautgefühl. Die rechte Hand zum Vergleich zeigt normale tactile Gnose.

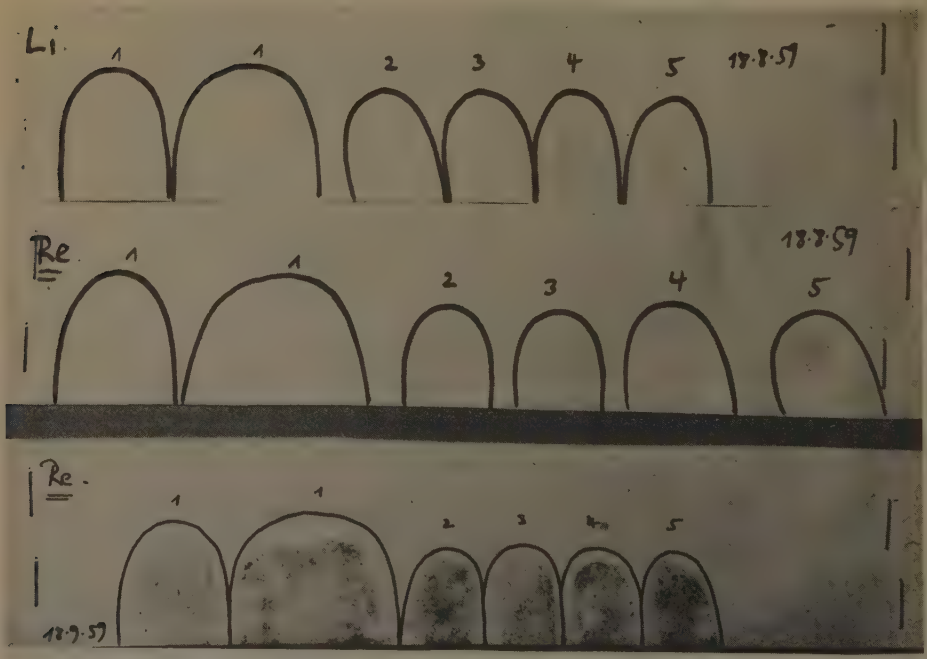


Abb. 18 Restitution des N. radialis am abgerollten rechten Daumen. Das Hautgefühl der übrigen Langfinger sowie das der linken Hand entspricht der Norm.

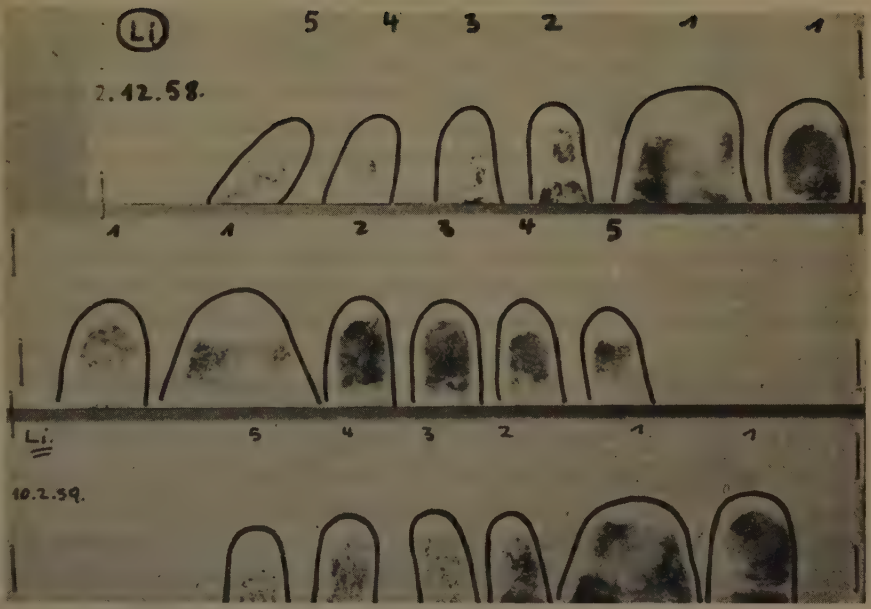


Abb. 19 Am Mittel- und Ringfinger der linken Hand ist das Hautgefühl herabgesetzt. Die Zeichnung der Schweißdrüsenporen aller Langfinger der linken Hand ist stark verändert. Das Hautgefühl der rechten Hand zum Vergleich entspricht der Norm.

DIE REGENERATION PERIPHERER SENSIBLER NERVEN IM NINHYDRIN-TEST

Sobald ein Nerv durchtrennt wird, unterliegt der periphere Anteil dem Gesetz der WALLER'schen Degeneration, d.h. dem Zerfall der Markscheide, des Neuroplasmas und seiner Fibrillen unter Erhalt der SCHWAN'schen Scheide. Die Regeneration erfolgt dann in Form von Wachstumskeulen vom zentralen Stumpf aus. Die SCHWAN'schen Zellen beginnen zu wuchern und bilden Reihen aus (SPIELMAYER). Es kommt zur Kettenbildung. Innerhalb dieser Ketten wachsen Fibrillen aus, die mit Seitensproßen versehen sind. Die Regeneration ist davon abhängig, ob eine Bahn besteht, genauso, wie es phylogenetisch die Voraussetzung für das Wachstum der Nerven ist. Frühestens 4-6 Wochen nach einer Verletzung eines peripheren sensiblen Nervens ist ein erneutes Wachstum feststellbar. Die Regenerationsgeschwindigkeit wird allgemein mit 0,25 - 0,4 mm pro Tag angegeben. Voraussetzung dafür ist, daß die Nervenfasern keine Narbengewebe zu durchwachsen haben. Dort, wo das Narbengewebe nicht zu dick ist, durchziehen es Bandfasern, die damit eine Bahn für die nachfolgenden Fibrillen darstellen. Man bezeichnet diesen Vorgang als "plasmatische Wachstumsbahn" (SPIELMAYER). Entlang dieser Bandfasern wachsen dann die Fibrillen in das periphere Stück ein. Nach neueren Forschungen ist jedoch auch eine autogene Regeneration des peripheren Stumpfes bekannt geworden. Auch hier geht das Wachstum von den SCHWAN'schen Zellen aus, jedoch nur unter der Mitwirkung von zentralen Reizen. Derartige Vorgänge sind in einem großen Teil der zur Auswertung gelangten Sensibilitäts-Teste nach E. MOBERG nachweisbar geworden.

In folgenden drei Fällen soll dieser Vorgang besonders beschrieben werden:

Fall 1: 55-jähriger Maschinenarbeiter in einer Landmaschinenfabrik

Am 22.9.1958 kam der Verletzte mit der rechten Hand in eine Bandsäge, dabei wurden der Mittel- und Ellennerv, die Beugesehnen der Langfinger und die Beugesehne des Daumens durchtrennt. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb, dabei wurden beide Nerven und die durchtrennten Beugesehnen genäht. Am 7.10.1958 wurde der Patient zur weiteren Behandlung zur Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen überwiesen.

Am 27.11.1958 wurden in einer operativen Sitzung der N. medianus und ulnaris dargestellt, angefrischt und sekundär genäht. Die wiederholt durchgeführten Sensibilitäts-Teste nach E. MOBERG ergaben eine gewisse Restitution des Hautgefühles am Daumen und Kleinfinger der rechten Hand. Es ist sowohl aufgrund des klinischen Befundes als auch nach dem Ninhydrin-Test zur Ausbildung einer funktionell ausreichenden Schutzsinsibilität am Daumen und Kleinfinger gekom-

men. Der Fingerabdruck der linken Hand zum Vergleich zeigt normale tactile Gnose (Abb. 20) [1].

Fall 2: 22-jähriger Stuhlmacher

Am 17.7.1958 kam der Verletzte mit der rechten Hand in eine Kreissäge. Am gleichen Tag wurde der Patient in der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen stationär aufgenommen. Es stellte sich heraus, daß es zu einem offenen Bruch des rechten Daumens mit einer Durchtrennung der Strecksehnen und des beugeellenseitigen Gefäßnervenbündels, ferner zu einem Teilverlust des rechten Zeigefingers und vollständigem Verlust des Mittelfingers gekommen war. Außerdem handelte es sich um einen offenen Gelenkbruch des Grundgliedes des Ringfingers mit einer Durchtrennung der Strecksehnen und des beuge-ellenseitigen Gefäßnervenbündels. Das Grundgelenkt des Kleinfingers war ebenfalls breit eröffnet und die Strecksehnen durchtrennt.

Während der Operation wurden die Strecksehnen des Daumens und die beugeseitigen Nerven genäht. Vom Zeigefinger wurden das End- und Mittelglied und Teile des Grundgliedes amputiert.

Der Mittelfinger wurde in Höhe des Grundgelenkes abgesetzt. Am Ringfinger wurde eine primäre Gelenkplastik und Strecksehnennaht durchgeführt. Die Strecksehne des Kleinfingers wurde ebenfalls genäht. Der am 30.7.1958 angefertigte Sensibilitäts-Test zeigte ein völliges Fehlen der tactilen Gnose am 4. Finger, ebenso am ellenseitigen Kuppenanteil des Daumens. Der Kleinfinger hatte normales Hautgefühl.

Am 24.2.1959 macht sich eine Restitution des Hautgefühls am Daumen bemerkbar. Der Zeigefingerstumpf hat annähernd normale Zahl und Dichte von Schweißdrüsenausführungsgängen. Am 28.7.1959 ist es zu einer fast vollständigen Restitution des Hautgefühles am Daumen gekommen. Die tactile Gnose am Zeigefingerstumpf ist unverändert geblieben. Das Hautgefühl am 4. und 5. Finger entspricht weiterhin der Norm (Abb. 24).

Aufgrund dieser Serie von Fingerabdrücken mittels des Ninhydrin-Testes läßt sich die Restitution der Sensibilität an den anfangs gefühllosen Fingern sehr deutlich verfolgen.

---

1) In den Abbildungen 20a - c wird der Endzustand der operierten rechten Hand nach Abschluß des Heilverfahrens photographisch dargestellt.

Fall 3: 25-jähriger Elektromonteur

Am 23. 8. 1959 erlitt der Patient eine Schnittverletzung am rechten Zeigefinger. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Am 10. 2. 1959 wurde der Patient in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen zur stationären Behandlung überwiesen. Die am gleichen Tag durchgeführten Sensibilitäts-Teste nach E. MOBERG zeigten, daß das Hautgefühl am rechten Zeigefinger vollständig fehlt. Das Hautgefühl der übrigen Finger wie auch das der rechten Hand entspricht der Norm.

Am 12. 2. 1959 wurden daraufhin beide volaren Nerven des rechten Zeigefingers operativ dargestellt. Sie waren nicht durchtrennt, aber narbig eingeschieden. Da die Nervenfasern durch die Narben zogen, wurde von einer sekundären Naht Abstand genommen. Statt dessen wurde eine Neurolyse durchgeführt. In gleicher operativer Sitzung wurde eine gestielte Lappenplastik und eine Sehnenlösung vorgenommen. Die am 17. 3. 1959 und am 15. 12. 1959 angefertigten Ninhydrin-Teste zeigen sehr deutlich eine Restitution des Hautgefühls am rechten Zeigefinger an. Nach der Zahl und Dichte der Schweißdrüsenausführungsgänge zu urteilen besteht am rechten Zeigefinger eine funktionell ausreichende Schutzsensibilität. Im Vergleich der Teste miteinander ist damit zu rechnen, daß es letztlich zu einer Wiederherstellung normaler tactiler Gnose kommen wird (Abb. 25).

DIE VIKARIIERENDE FUNKTION PERIPHERER SENSIBLER NERVEN IM NINHYDRIN-TEST

Die Versorgungsbezirke der peripheren Nerven sind nicht streng von einander abgegrenzt, sondern gehen ineinander über. Kommt es zu einer Unterbrechung eines peripheren sensiblen Nerven, fällt zunächst das von ihm versorgte Hautgebiet vollständig aus. Bald darauf jedoch beginnt der Nachbarnerv, den nicht mehr innervierten Bezirk vom Rande aus einzuengen. Dieser Vorgang ist jeweils verschieden stark oder schwach ausgeprägt. Weshalb es zu dieser Bestrebung kommt und was für Reize dabei eine Rolle spielen, konnte bisher nicht restlos geklärt werden. Die Einengung des ausgefallenen Hautbezirkes durch einen sensiblen Nachbarnerven erfolgt unabhängig von der Restitution des verletzten Nerven. Besonders deutlich wurde diese vikariierende Funktion des sensiblen Nerven in folgenden zwei Fällen.

Fall 1: 54-jähriger selbständiger Schuhmacher

Am 10.8.1959 kam der Verletzte mit dem linken Unterarm in eine laufende Schmirgelscheibe und erlitt eine tiefe Schnittwunde an der Außen- und Beugeseite des Unterarmes. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Am 7.9. 1959 erfolgte die Überweisung des Patienten in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen. Am 8.9.1959 wurde der durch den Unfall gequetschte N. medianus operativ revidiert und aus dem Narbengewebe befreit. Im Ninhydrin-Test zeigte sich das klassische Bild einer Medianuslähmung. Der V. Finger und der ulnare Anteil des IV. Fingers verfügen über normale tactile Gnose. Der radiale Kuppenanteil des IV. Fingers sowie die übrigen Langfinger und der Daumen haben kein Hautgefühl. Sehr deutlich kommt am abgerollten Daumen der Abdruck des streckseitig innervierenden N. radialis zur Abbildung. Die während der stationären und ambulanten Nachuntersuchung durchgeführten Ninhydrin-Teste zeigen, daß es bis zum 28.10.1959 zu einer fast vollständigen Resensibilisierung des Ringfingers gekommen ist. Der Abdruck zeigt deutlich das Bestreben des N. ulnaris an, das ausgefallene Versorgungsgebiet des Ringfingers einzuengen und sensibel zu versorgen (Abb. 26).

Fall 2: 18-jähriger Feinblechner

Am 19.12.1958 erlitt der Verletzte eine Schnittverletzung am linken Daumengrundgelenk. Dabei wurden beide beugeseitigen Gefäßnervenbündel und die lange Daumenbeugesehne durchtrennt. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb.

Am 26.1.1959 erfolgte die stationäre Aufnahme zur weiteren Behandlung in der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen. Der am gleichen Tage angefertigte objektive Sensibilitäts-Test ergab, daß das Hautgefühl am linken Daumen vollständig fehlt. Das Hautgefühl der übrigen Finger sowie das der rechten Hand entsprach der Norm (Abb. 27a). Aufgrund dieses Befundes wurde eine sensible Ersatzoperation durchgeführt. In gleicher operativer Sitzung erfolgte eine Beugesehnenplastik für den Daumen. Nach der Eröffnung der Haut stellte sich heraus, daß beide volare Daumennerven durchtrennt waren. Der volare ellenseitige Kuppenanteil des Mittelfingers wurde mit den Gefäßen und dem volaren ellenseitigen sensiblen Nerven in Form eines gestielten Haut-Gefäß-Nerven-Transplantates auf die Kuppe des Daumens übertragen. Der am 3.3.1959 angefertigte Fingerabdruck zeigt den gefühllosen ulnaren Kuppenanteil des Mittelfingers, der mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckt worden war und den durch die Operation mit Gefühl versehenen Kuppenanteil des Daumens (Abb. 27b).

Am 10.3.1959 wird im Fingerabdruck-Test nach E. MOBERG der verpflanzte

Kuppenanteil am Daumen deutlich sichtbar. Die Schweißdrüsenausführungsgänge werden in den laufend angefertigten Ninhydrin-Testen immer besser nachweisbar. Am 11. 12. 1959 wurde der inzwischen entlassene Patient zu einer ambulanten Nachuntersuchung wieder einbestellt. Der am gleichen Tag durchgeführte Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG zeigt das unveränderte Fehlen des Hautgefühls am ulnaren Kuppenanteil des linken Mittelfingers an. Das Hauttransplantat ist nicht resensibilisiert worden. Am Daumen läßt sich in dem verpflanzten Kuppenanteil völlig normale tactile Gnose nachweisen. Subjektiv wird bei Betasten des verpflanzten Kuppenanteiles das Hautgefühl immer noch am Mittelfinger wahrgenommen. Sehr deutlihch werden am abgerollten Daumen die vom N. radialis innervierten Randzonen dargestellt, wie auch das Bestreben des N. radialis, das ausgefallene Versorgungsgebiet der volaren Daumennerven mit zu übernehmen. Daß diese vikariierende Funktion allein vom N. radialis ausgeht, wird dadurch erkenntlich, daß der Kuppenanteil des Daumens, der durch die sensible Ersatzoperation neu mit Hautgefühl versehen worden ist, streng abgegrenzt ist. Aufgrund der subjektiven Angaben des Patienten und des objektiv erhaltenen Sensibilitäts-Testes ist der ehemals völlig gefühllose Daumen jetzt mit annähernd normaler tactiler Gnose versehen (Abb. 27c).

DIE TROPHISCHEN STÖRUNGEN BEI DER DURCHTRENNUNG SENSIBLER NERVEN IM NINHYDRIN-TEST

Bei der Laesion eines peripheren sensiblen Nerven kommt es nicht allein zu Hautgefühlsstörungen, sondern auch zu schwerwiegenden Hautveränderungen. Die Ursache dafür ist, daß infolge der Unterbrechung des sensiblen Nerven vasomotorische Störungen auftreten. Die Durchblutung verändert sich beträchtlich durch die Irridation der terminalen Strohmbahneinheiten. Dieser Vorgang äußert sich in der unphysiologischen Blässe und Kühle des betroffenen Hautabschnittes. Man spricht deshalb auch von einer mormorierten Haut. Ein weiteres Zeichen dafür ist die lokale Asphyxie, die durch das cyanotische Aussehen sichtbar wird und durch die Übersättigung des Blutes mit Kohlensäure zustande kommt. Die Haut wird schuppig (Hyperkeratose). Sie verliert die Fältelung. Streicht man mit dem Finger über eine derartige Haut hinweg, hat man das Gefühl, Samt zu berühren (glossy skin). Im Röntgenbild läßt sich aufgrund der Ernährungsstörungen in vielen Fällen eine Entkalkung der Knochen nachweisen.

Durch die bestehende Anaesthesie eines nicht mehr sensibel innervierten Hautabschnittes, wie sie besonders schwerwiegend an der Hand ist, fügen sich die Patienten oft ungewollt neue Verletzungen zu, entweder durch spitze oder scharfe Gegenstände oder durch Verbrennungen. Die dabei entstehenden Wunden bedür-

fen einer besonderen Pflege, da durch die mangelnde Durchblutung eine schlechte Heilungstendenz besteht. Zunächst harmlos erscheinende Verletzungen neigen plötzlich zu Geschwürsbildungen. Diese werden allgemein als "trophische Geschwüre" bezeichnet. Wie sich derartige trophische Geschwüre im Ninhydrin-Test abzeichnen, soll folgender Fall demonstrieren.

36-jährige Arbeiterin

Am 2.7.1958 kam die Verletzte mit der rechten Hand in eine Druckerpresse. Die Patientin wurde sofort in die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen eingeliefert. Bei der chirurgischen Erstversorgung wurde der Daumen und Zeigefinger abgesetzt und eine Spalthand gebildet. Der streckseitig bestehende Hautdefekt wurde mit einem Vollhautlappen nach WOLFE-KRAUSE gedeckt.

Die am 18.9.1959 angefertigten Sensibilitäts-Teste nach E. MOBERG zeigen normale tactile Gnose am Mittel-, Ring- und Kleinfinger. Der Daumenstumpf weist im Test kein Hautgefühl mehr auf. Dadurch ist es bei der Patientin sekundär zu einer erneuten Verletzung gekommen. Die Folge davon war die Ausbildung eines trophischen Geschwüres (Abb. 28).

DIE FRAGE DER REGENERATION PERIPHERER SENSIBLER NERVEN IM HAUTTRANSPLANTAT IM NINHYDRIN-TEST

Bei vielen Handverletzungen entstehen sehr häufig große Hautdefekte, die durch Hauttransplantate gedeckt werden müssen. Besonders schwerwiegend für den Patienten sind derartige Transplantationen dann, wenn der Defekt die Greifflächen der Finger betrifft. In diesem Fall ist es sicher, daß es nie wieder zu einer Ausbildung von tactiler Gnose kommen wird. ZRUBECKY und SCHARITZER stellten Nachuntersuchungen an 31 Patienten an, bei denen ein Vollhautlappen nach WOLFE-KRAUSE an der Greiffläche der Finger reaktionslos und gut eingeheilt war. Sie prüften die Sensibilität mit dem "funktionellen Münzentest", um den funktionellen Gebrauchswert der Hand festzustellen. Die Untersuchung ergab, daß keiner der Verletzten mit geschlossenen Augen die Münzen aufnahm, wenn die ganze Fingerkuppe durch einen Vollhautlappen plastisch gedeckt war.

Prüft man die Sensibilität eines mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckten Fingers mit dem Ninhydrin-Test, ergibt sich folgendes Bild: Die Schweißdrüsenausführungsgänge werden sehr vereinzelt dargestellt. Die Punkte sind nicht gleichmäßig und dicht über den Abdruck-Test der Fingerkuppe verteilt. Aufgrund dieses objektiven Testes und des erhobenen klinischen Befundes kann man nur von der Ausbildung

einer funktionell ausreichenden Schutzsensibilität sprechen. Die Resensibilisierung in einem Hauttransplantat erfolgt höchstens bis zu einer ausreichenden Schutzsensibilität und nur dann, wenn der Lappen reaktionslos eingeheilt ist. Handelt es sich dabei um den Daumen oder Zeigefinger, ist es erforderlich, eine sensible Ersatzoperation sekundär durchzuführen, um die funktionell entscheidenden Zonen der genannten Finger wieder mit tactiler Gnose zu versehen. An folgendem Fall wurde sekundär eine derartige Operation durchgeführt, da es nachweislich zu keiner Restitution des Hautgefühls des mit einem temporär gestielten Hautlappen gedeckten Daumens gekommen war.

21-jähriger Hilfsarbeiter

Am 30.8.1957 kam der Verletzte mit dem linken Daumen zwischen zwei Walzen. Der linke Daumen wurde dabei völlig skelettiert. Die chirurgische Erstversorgung erfolgte außerhalb. Der Daumen wurde mit einem Bauchhautlappen plastisch gedeckt.

Am 10.8.1958 wurde der Patient zu einer ambulanten Kontrolluntersuchung an die Berufsgenossenschaftliche Klinik Tübingen überwiesen. Die klinische Untersuchung ergab folgenden Befund: Völlig gefühlloser, mit Bauchhaut plastisch gedeckter Daumen in unbefriedigendem kosmetischen Zustand (Abb. I). Die am gleichen Tag angefertigten Fingerabdrücke nach E. MOBERG bestätigten den klinischen Befund. Der vor einem Jahr mit Bauchhaut plastisch gedeckte Daumen zeigt nur eine verwaschene punktförmige Struktur. Der Daumen ist gefühllos. Die übrigen Finger sowie die der rechten Hand zum Vergleich verfügen über normale tactile Gnose (Abb. 29a).

Am 4.8.1959 wurde der Patient in der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen stationär aufgenommen. Am 6.8.1959 wurde von der Universitäts-Nervenklinik Tübingen ein fachneurologisches Gutachten über das Hautgefühl des mit Bauchhaut plastisch gedeckten Daumens eingeholt. Darin heißt es, daß der Daumen keine funktionell ausreichende Sensibilität besitzt.

Am 10.8.1959 wurde daraufhin die sensible Ersatzoperation und secundär eine Stumpfkorrektur durchgeführt. Der volare, ellenseitige Kuppenanteil des Mittelfingers wurde in Form eines gestielten Haut-Gefäß-Nerven-Transplantates auf die Kuppe des Daumens übertragen (Abb. II). Das Haut-Gefäß-Nerven-Transplantat heilte reaktionslos ein (Abb. III).

Der am 23.9.1959 angefertigte Ninhydrin-Test und durchgeführte funktionelle Münzentest (Abb. IV) bringt zum Ausdruck, daß der durch die Operation mit Hautgefühl versehene Kuppenanteil des Daumens normale tactile Gnose besitzt.

Der Patient ist in der Lage, einen Spitzgriff zwischen Daumenkuppe und Zeigefingerkuppe zu bilden. Der volare ellenseitige Kuppenanteil des Mittelfingers, der mit einer Hautplastik gedeckt wurde, bleibt gefühllos, das Hautgefühl der übrigen Finger entspricht der Norm (Abb. 29b). Bei einer wiederholt durchgeführten fachneurologischen Untersuchung in der Universitäts-Nervenklinik Tübingen wird die tactile Gnose des gestielten Haut-Gefäß-Nerven-Transplantates bestätigt. Dagegen ist der primär verpflanzte Bauchhautlappenanteil des Daumens weiterhin gefühllos.

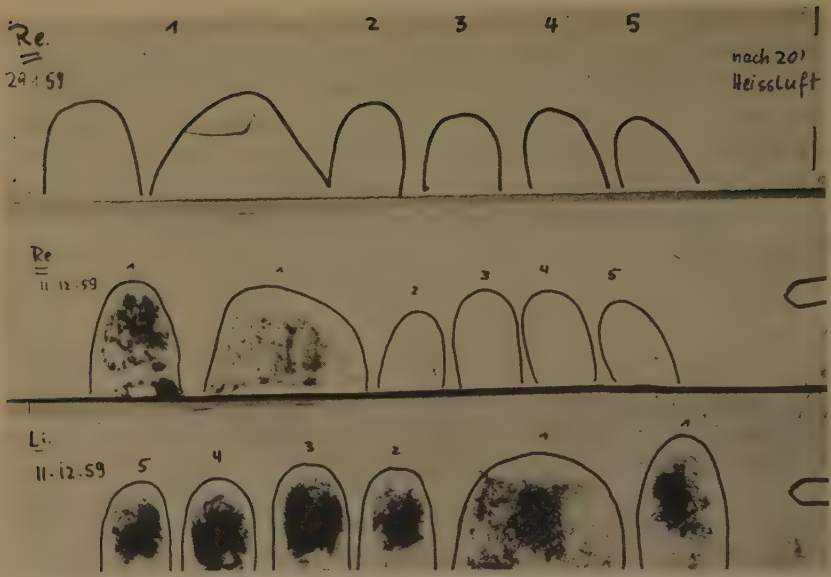


Abb. 20 Nach sekundärer Naht des N. medianus und ulnaris ist es nach Ablauf eines Jahres zu einer Wiederkehr des Hautgefühles am Daumen und Kleinfinger bis zur ausreichenden funktionellen Schutzsensibilität gekommen. Auch der Zeigefinger der rechten Hand verfügt durch die Regeneration der peripheren sensiblen Nerven über eine annähernd ausreichende Schutzsensibilität.

Abb. 21

Abb. 22

Abb. 23

Endzustand der operierten rechten Hand. Sekundäre Naht des N. ulnaris und medianus und Naht der Beugesehnen für den Finger 1-5. Der vollständige Faustschluß ist noch nicht möglich, ebenfalls die Streckung der Langfinger. Die Bildung des primären Spitzgriffes ist fast erreicht. Es ist jedoch damit zu rechnen, daß sich die funktionelle Leistungsfähigkeit der rechten Hand weiterhin verbessern wird.

Abb. 24 Restitution des Hautgefühles am rechten Daumen und rechten Zeigefingerstumpf.

Abb. 25 Restitution des Hautgefühles am rechten Zeigefinger, nach durchgeführter Neurolyse.

Abb. 26 Medianuslähmung. Der ulnare volare Nerv des Ringfingers der linken Hand (Ast des N. ulnaris) beginnt, das durch die Verletzung gefühllos gewordene radiale Kuppengebiet desselben Fingers mit zu übernehmen.

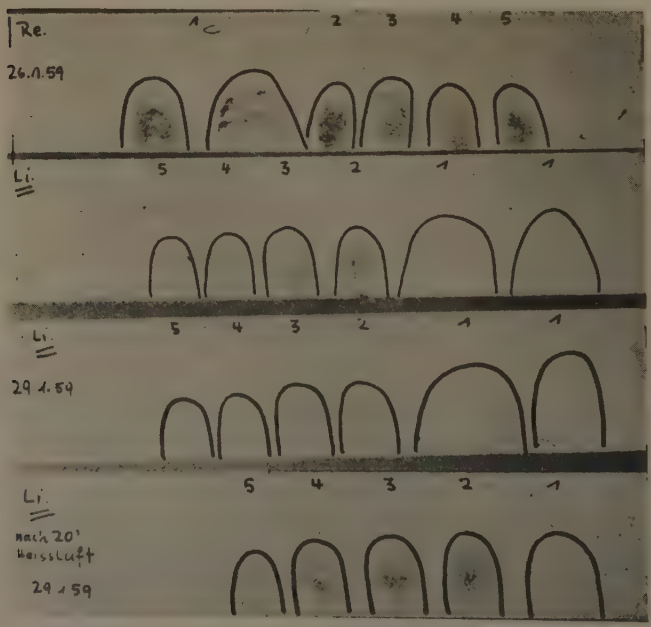


Abb. 27a Vollständiger Ausfall des Hautgefühles am linken Daumen. Die Langfinger der gleichen Hand, sowie die rechte Hand zum Vergleich verfügen über normale tactile Gnose.

Abb. 27b Die Abbildung zeigt den durch die sensible Ersatzoperation mit Gefühl versehenen ulnaren Kuppenanteil des Daumens und den mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckten radialen Kuppenanteil des Mittelfingers.

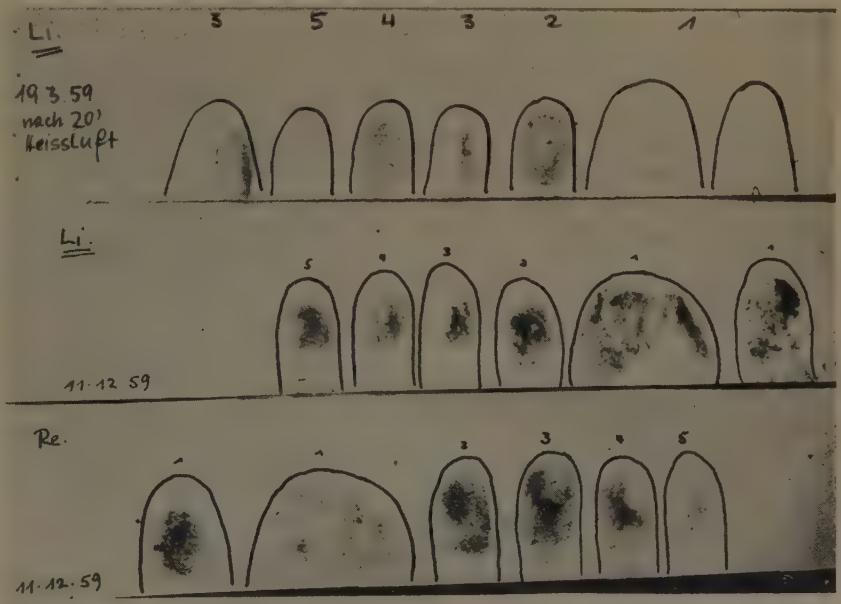


Abb. 27c Das Hautgefäßnerventransplantat am linken Daumen verfügt über normale tactile Gnose. Der Vollhautlappen am linken Mittelfinger ist weiterhin gefühllos. Außerdem wird am abgerollten Daumen die vikariierende Funktion des N. radialis sichtbar.

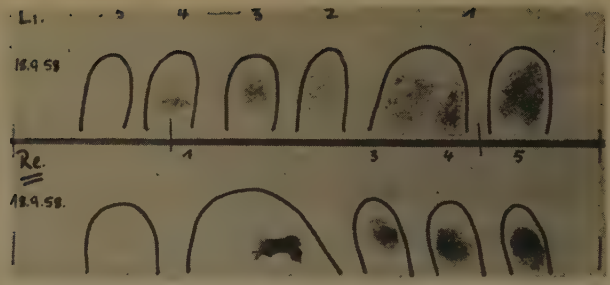


Abb. 28 Darstellung eines trophischen Geschwüres am Daumen der rechten Hand.

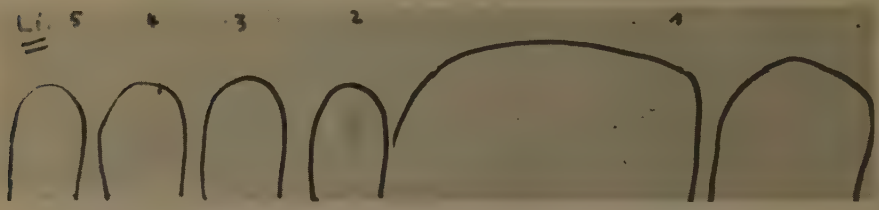


Abb. 29a Völlig gefühlloser, mit Bauchhaut plastisch gedeckter Daumen der linken Hand.

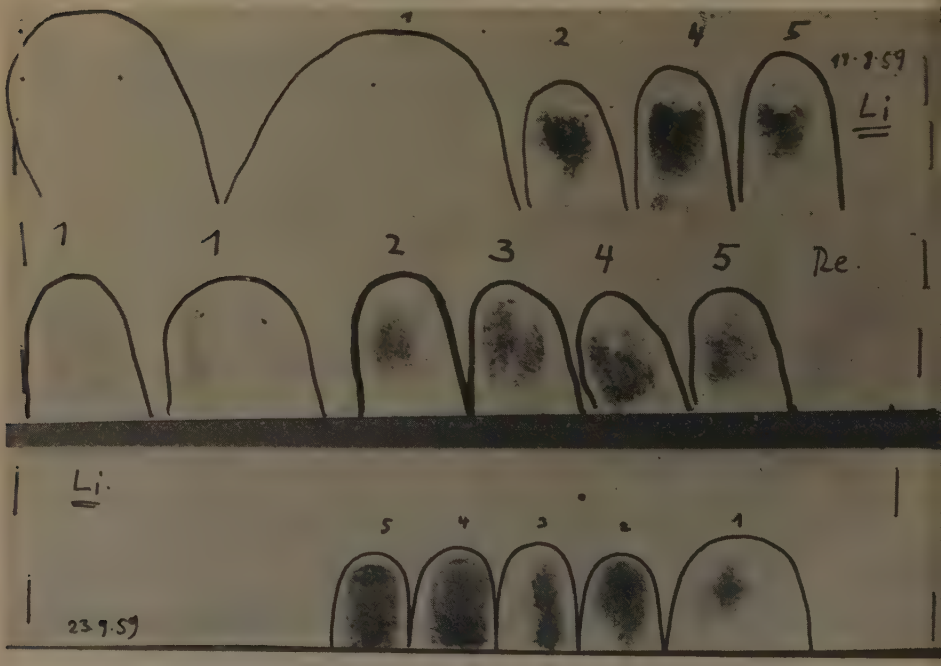


Abb. 29b Nach einer sensiblen Ersatzoperation verfügt der ulnare Kuppenanteil des linken Daumens über normale tactile Gnose. Der Vollhautlappen an der ulnaren Kuppenseite des Mittelfingers ist gefühllos.

Abb. I Gefühlloser mit Bauchhaut plastisch gedeckter Daumen.

Abb. II Übertragung des Hautgefäßnerventransplantates vom Mittelfinger auf den Daumen.

Abb. III Reaktionslos eingeheiltes Hautgefäßnerventransplantat an der ulnaren Daumenkuppe.

Abb. IV Der funktionelle Münzentest zeigt, daß die Spitzgriffbildung zwischen Daumen- und Zeigefingerkuppe durch die Operation möglich geworden ist.

MODIFIZIERTE OBJEKTIVE METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER SENSIBILITÄT AN DER HAND

Die ersten objektiven Sensibilitäts-Teste gehen auf MINOR zurück. Das Verfahren beruhte auf der Erfassung des ausgeschiedenen Wassers durch die Schweißdrüsen mit Jod und Stärke. Dieser Test wurde im Laufe der Jahre wiederholt verbessert. Die letzte Modifikation erfuhr diese Methode durch MOBERG. Keinem der Autoren war es gelungen, den Jod-Stärke-Test über Jahre hinaus haltbar zu machen. Man war bisher immer gezwingen, die Teststreifen zu photographieren, um die Ergebnisse auch später noch auswerten zu können. Um diesen Test, der in seiner technischen Durchführung sehr einfach ist und vor allem gegenüber der Ninhydrin-Methode den großen Vorteil hat, daß man ihn nicht entwickeln und fixieren muß, für die spätere Zeit diagnostizierbar zu machen, suchte ich nach einer Möglichkeit, ihn zu präservieren. Zunächst versuchte ich es durch Fixierung mit Komplexsalzen. Dieser Versuch mißlang. Da es nach den bisherigen Ergebnissen also nicht möglich ist, mit chemischen Mitteln die Haltbarkeit des Testes zu erreichen, versuchte ich es auf einem anderen Wege. Ich stellte mir zunächst eine Mischung von Jod und Stärke her. Dieses Pulver brachte ich auf eine Fingerbeere auf. Sehr interessant war es, dabei zu sehen, wie die durch das Pulver weißgefärbte Haut immer mehr mit blauen Punkten durchsetzt wurde. Diese Punkte entsprachen genau den Schweißdrüsenausführungsgängen und waren alle auf den Leisten lokalisiert. Dann nahm ich ein Stück Tesafilm und drückte darauf den Finger ab. Ich erhielt eine genaue Abbildung, entsprechend der Anzahl der Schweißdrüsenporen. Das Pulver wurde durch den Klebstoff festgehalten und ließ sich nicht wieder entfernen. Da der Tesafilm durch seine eigene Farbe eine exakte Diagnostizierung des Abdruckes erschwert, ging ich zu selbstklebendem weißen Papier über. In einer Schale hatte ich die Mischung von Jod und Stärke vorbereitet und tauchte nun jeden Finger einzeln in das Pulvergemisch ein. Dabei ist jedoch sehr darauf zu achten, daß die Fingerbeeren gleichmäßig und dünn von dem Pulver bedeckt sind. Der Test zeigt (Abb. 30) eine normal sensibel innervierte Hand. Die vom N. radialis versorgten Randzonen am abgerollten Daumen sind deutlich erkennbar. Die Farbe der zur Abbildung gekommenen Schweißdrüsen ist durch das Jod braun bis braunschwarz geworden. Um den Test vor äußeren Einflüssen zu schützen, brachte ich über dem Papierstreifen eine ebenfalls selbstklebende Plastikfolie an und befestigte beide auf einem Karton, genauso wie es bei der Ninhydrin-Methode geschieht. In einem zweiten Versuch stellte ich ein Gemisch von Jod, Stärke und Chinizarin 2-6 disulfonat her. Auch hier ist der Abdruck deutlich erkennbar und gut zu diagnostizieren (Abb. 31a und 31b).

Auf der Suche nach neuen Möglichkeiten zur Darstellung sensibler Nervenverletzungen gelang es mir, drei neue Verfahren zu entwickeln.

1954 stellte R. BRUN eine qualitative Schweißanalyse schwitzender Haut auf. Zwei Verfahren davon konnte ich soweit modifizieren, daß sie sich zum Nachweis sensibler Nervenverletzungen eigneten.

1. Ein Pulvergemisch von

Bromphenolblau	5 %
Na_2CO_3 sicc.	15 %
Stärke	40 %
Traganth	40 %

brachte ich gleichmäßig auf die Fingerkuppe auf. Nach wenigen Sekunden schon erschienen blaue Punkte, die wiederum den Schweißdrüsenausführungsgängen entsprachen. Nachdem die Fingerbeeren gleichmäßig damit übersät waren, drückte ich sie auf einem selbstklebenden Papier ab. Das erhaltene Bild zeigt deutlich das Vorhandensein völlig normalen Hautgefühles an den getesteten Hautabschnitten an (Abb. 32).

2. Das zweite Verfahren beruht auf der Reaktion eines Salzgemisches mit dem Schweiß. Dazu verwandte ich Kaliumferrozyanid und Eisen (III) Ammoniumsulfat im Verhältnis 3 : 1. Beide Reagenzien müssen, bevor sie miteinander vermischt werden, völlig wasserfrei sein. Wiederum brachte ich den Puder fein verteilt auf die Fingerkuppen auf, nahm den Abdruck auf weißem selbstklebendem Papier vor (Abb. 33). Deutlich sind die punktförmigen Schweißdrüsenporen erkennbar. Die Farbe ist grün. Die getesteten Hautabschnitte normal sensibel innerviert.

Da die bisherigen Abdrücke in ihren Farben nicht ganz rein waren, suchte ich nach einem Reagenz, das sowohl im Test als auch in der Farbe exakt und genau ist. Das gelang mir mit Rodamin B. Rodamin B ist ein organischer Farbstoff, der, mit Wasser in Berührung gekommen, sofort seine braune Farbe verliert und in grellrot übergeht. Aufgrund dieser großen Affinität zum Wasser und der ebenfalls sehr großen Farbintensität stellte ich ein Mischungsverhältnis von Rodamin B und Stärke 1 : 100 her. Dieser Test eignet sich hervorragend zum Studium der Schweißdrüsenporen. Der Abdruck geschieht, wie bisher, auf selbstklebendem Papier und wird dann durch das Überkleben mit einer Plastikfolie vor unerwünschten äußeren Einflüssen geschützt (Abb. 34).

Um eine Vergleichsmöglichkeit zwischen den modifizierten neuen Sensibilitäts-Testen zu der Ninhydrin-Methode zu haben, ist in Abbildung 35 ein derartiger Test dargestellt.

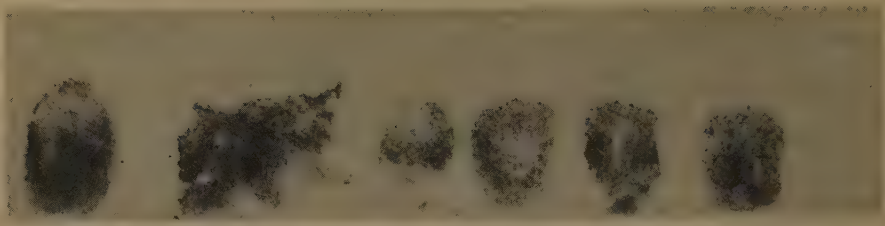


Abb. 30 Jod-Stärke-Test

Abb. 31a Test mit Jod (100), Stärke (100) und Chinizarin (100).

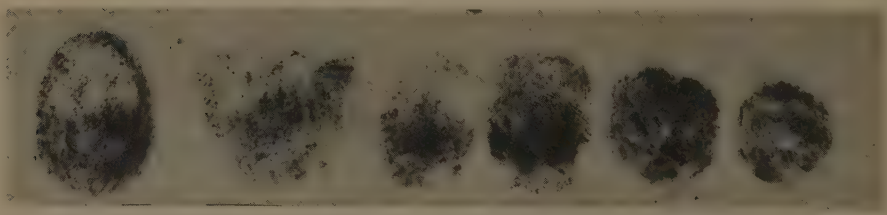


Abb. 31b Test mit Jod (50), Stärke (75) und Chinizarin (25).

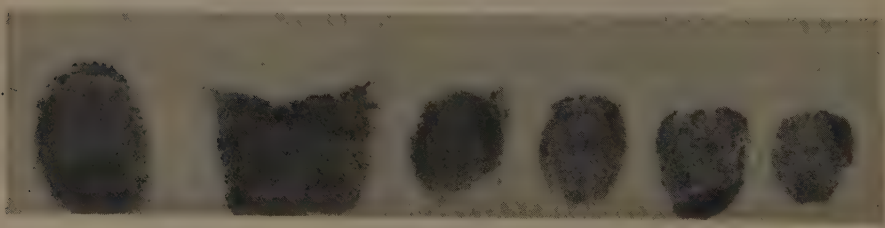


Abb. 32 Test mit Bromphenolblau.

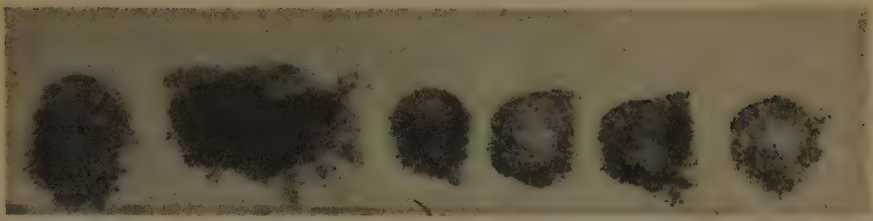


Abb. 33 Test mit Kaliumferrozyanid (3) und Eisen (III) - Ammoniumsulfat (1).

Abb. 34 Test mit Rodamin B.

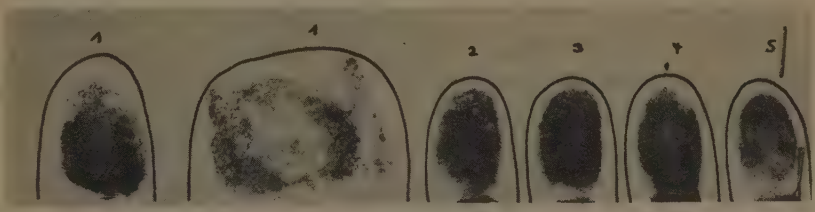


Abb. 35 Ninhydrin-Test-

VERGLEICHE ZWISCHEN DEN ENTWICKELTEN OBJEKTIVEN SENSIBILITÄTS-TESTEN UND DER NINHYDRIN-METHODE

Alle Verfahren beruhen auf dem von E. MOBERG geprägten Ausdruck "Druck-Testen". Bisher galt der Ninhydrin-Test als das einzige Verfahren, das eine Präservierung erlaubte. Durch die Verwendung von selbstklebendem Papier ist jedoch die Möglichkeit gegeben, auch den Jod-Stärke-Test und die übrigen objektiven Methoden über Jahre hinaus aufzuheben. Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Teste ergeben sich folgende Unterschiede. Alle Verfahren, außer der Nihydrin-Methode, haben den großen Vorteil, daß sie sofort angesehen werden können. Damit ist die Möglichkeit geschaffen, den Test gegebenenfalls sofort zu wiederholen. Die technische Durchführung ist weitgehend vereinfacht. Das Entwickeln und Fixieren ist nicht mehr notwendig.

1. Der Jod-Stärke-Test ist in der Modifikation von E. MOBERG in dem hier geschilderten Verfahren nicht durchführbar, es sei denn, es würde gelingen, das Jod und das Chinizarin in den Teststreifen zu bringen, ohne daß dabei die Klebfähigkeit des Papiers aufgehoben wird. Das würde aber das ganze Verfahren bedeutend erschweren. In der hier vorliegenden, von mir verbesserten Jod-Stärke-Methode, erhält man auch ohne diese Vorbereitungen einen Abdruck, der sofort diagnostiziert und aufgehoben werden kann.

2. Der Test mit Bromphenolblau ist sehr empfindlich. Man muß das Pulvergemisch in einem gut verschließbaren Gefäß aufheben, sodaß keine Feuchtigkeit herankommen kann, da der Test auf der Reaktion mit dem im Schweiß enthaltenen Wasser beruht. Der Test ist genau, gibt aber eine nicht so deutliche und klare Zeichnung der sensibel innervierten oder entnervten Haut.

3. Das in Abbildung 33 demonstrierte Verfahren mit Kaliumferrozyanid und Eisen (III) Ammoniumsulfat hat einen geringen Nachteil. Beide Reagenzien müssen wasserfrei sein, da sich auch hier eine Wasserreaktion abspielt. Sowohl Kaliumferrozyanid und Eisen (III) Ammonium sulfat sind wasserfrei nur schwerlich im Handel zu bekommen, aufgrund ihrer hohen hygroskopischen Eigenschaften. Es erfordert jedoch nur geringe Mühe und Aufwand, sich beide Stoffe selbst wasserfrei herzustellen. In einer Trockenpistole mit Phosphorpentoxyd bei einer Temperatur von 90 Grad wird das Wasser in wenigen Stunden restlos entzogen. Der Abdruck-Test ist deutlicher und besser diagnostizierbar als in den vorausgegangenen Verfahren. Die technische Durchführung ist ebenfalls sehr einfach.

4. Rodamin B hat, wie Bromphenolblau, die gleiche stark hygroskopische Eigenschaft. Zum Test muß mit Stärke im Verhältnis 1 : 100 verdünnt werden, da der Abdruck anderenfalls verwischen würde. Der erhaltene Test ist sehr

genau und durch die leuchtende Farbe gut auswertbar. Er kommt der Ninhydrin-Methode am nächsten. Auch dieser Test kann ohne Schwierigkeiten aufgehoben werden.

5. Die Ninhydrin-Methode hat gegenüber den anderen objektiven Sensibilitätstesten den Nachteil, daß der Fingerabdruck nicht sofort ablesbar ist. Erst nach dem Entwickeln werden die Schweißdrüsenausführungsgänge deutlich sichtbar. Mit Kupferkomplexen fixiert ist der Test haltbar. Die große Affinität des Ninhydrins zu den α -Aminosäuren im menschlichen Schweiß verlangt einerseits, daß mit den Papierstreifen überaus sorgsam umgegangen wird, andererseits aber wird dadurch der Nachweiß der Sensibilität um so genauer und exakter. Werden die Teste unter Ausschluß von Fehlerquellen durchgeführt, so muß davon die weitere Art der Behandlung des Patienten abhängig gemacht werden.

In der Auswertung und Besprechung der 698 Ninhydrinteste ist die Objektivität der Methode deutlich sichtbar.

Die anderen Methoden sind in ihrer Entwicklung zu jung, um über sie ein endgültiges Urteil abgeben zu können. Der Ninhydrin-Test nach E. MOBERG ist erprobt und mit Erfolg angewandt worden und ist als der derzeitig beste und objektivste Sensibilitäts-Test anzusehen.

DIE BEDEUTUNG DER NINHYDRIN-METHODE FÜR DIE HANDCHIRURGIE

Die objektive Erfassung der vorhandenen Sensibilität an der Hand ist für den Chirurgen von ausschlaggebender Bedeutung. Bei vielen Handverletzungen kommt es zu einer Durchtrennung eines oder mehrerer peripherer sensibler Nerven. Die durch eine derartige Verletzung betroffenen Hautabschnitte sind sofort gefühllos. Die funktionelle Einheit der Hand, die sich aus Gefühl und Bewegung zusammensetzt, ist damit gestört. Besonders schwerwiegend sind derartige Laesionen dann, wenn dadurch Hautgefühlsstörungen an der Kuppe des Daumens oder des Zeigefingers entstehen. Den ulnaren Kuppenanteil des Daumens und den radialen Kuppenanteil des Zeigefingers bezeichnet man nach G. ZRUBECKY als die "funktionell entscheidenden Zonen" der Hand, da die Bildung eines kräftigen, gefühlvollen Spitzgriffes normale tactile Gnose dieser Hautabschnitte zur Voraussetzung hat. Schon bei der chirurgischen Erstversorgung sollen die Nerven durch eine erste Naht vereinigt werden, da der spätere funktionelle Gebrauchswert der Hand entscheidend davon abhängt. Schon hier ist es möglich, durch einen objektiven Sensibilitäts-Test ein genaues Bild von den noch sensibel innervierten bzw. entnervten Hautab-

schnitten zu bekommen. Bei einer wiederherstellenden Operation muß die Art des Eingriffes von dem objektiven Sensibilitäts-Test abhängig gemacht werden, um die funktionelle Einheit der Hand wieder zu erreichen.

Die Wiederkehr des Hautgefühles nach einer Nervennaht bzw. Neurolyse läßt sich zur Zeit genau nur durch den Ninhydrin-Test feststellen. Der Ninhydrin-Test wird damit ausschlaggebend für die ganze weitere Indikation.

Der objektive Sensibilitäts-Test ist ferner unerläßlich bei der Erstellung eines Rentengutachtens, da die subjektiven Angaben des Verletzten durch diese Methode objektiviert bzw. widerlegt werden können.

Wie wichtig allgemein die Sensibilität an der Hand eingeschätzt wird, mag an den zahlreichen entwickelten Operations-Methoden durch die Chirurgen und Orthopäden der vergangenen Jahrzehnte und heute erkenntlich sein. Ein großes Verdienst hat sich dabei L. KREUZ erworben, der in Berlin im Oskar-Helene-Heim die Spalthandbildung unter Berücksichtigung des Hautgefühls weitgehend modifizierte. Auch beim KRUKENBERG-Greifarm unterstreicht L. KREUZ die Bedeutung der Sensibilität für die spätere Funktion.

BUNELL HILGENFELDT MOBERG und SEDDON zeigten die entscheidende Bedeutung der Sensibilität für die Hand als Tast- und Greiforgan auf.

Zur Wiederherstellung der normalen tactilen Gnose in den funktionell entscheidenden Zonen nach erfolgloser Nervennaht entwickelte ZRUBECKY eine sensible Ersatzoperation.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Hand wird von drei gemischten Nerven sensibel innerviert, vom N. medianus, ulnaris und radialis. Kommt es zu einer Laesion der sensiblen Anteile der genannten Nerven, fallen die von ihnen versorgten Hautabschnitte für sämtliche Gefühlsmodalitäten aus.

Beim Betasten eines Gegenstandes werden die sensiblen Endorgane aller vier Gefühlsmodalitäten gereizt. Dadurch entsteht ein komplexer Tasteindruck, den man als tactile Gnose bezeichnet. Das Vorhandensein von tactiler Gnose ist die Voraussetzung für die funktionelle Einheit der Hand.

Die in der Haut befindlichen Schweißdrüsen stehen über einem vegetativen Reflexbogen mit den sensiblen Nerven in Verbindung. Der an der Peripherie rezipierte Reiz wird von den sensiblen Nerven zum Rückenmark geleitet. Dort erfolgt die Umschaltung durch den Ramus communicans über die paravertebralen Grenzstrangganglien auf den Sympathicus. Der adaequate Reiz für die Schweißdrüsen ist die Wärme. Bei der Durchtrennung eines peripheren sensiblen Nerven wird der Reflexbogen unterbrochen. Folglich kommt es zu keiner Schweißsekretion in den entnervten Hautabschnitten. Dadurch ist es möglich, die Sensibilität der Hand durch einen Schweißnachweis zu prüfen.

Im menschlichen Schweiß befindet sich eine große Anzahl von α-Aminosäuren, die durch Ninhydrin gefärbt werden können. Aus dieser Erkenntnis heraus entwickelte E. MOBERG den Ninhydrin-Drucktest.

In der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen wurden mit dieser Methode und dem funktionellen Münzentest 698 Patienten getestet. Der mit dem funktionellen Münzentest erhobene Befund wurde immer durch den objektiven Sensibilitäts-Test nach E. MOBERG bestätigt. Beide Methoden stimmten weitgehend überein.

Durch 122 Operationen wurde die Objektivität der Ninhydrin-Methode bewiesen. Die Exaktheit des Testes wurde an 8 Fällen besonders demonstriert. Die Restitution durchtrennter peripherer sensibler Nerven und die vikariierende Funktion des sensiblen Nachbarnerven wurde in weiteren fünf Fällen aufgezeigt. Bei schweren Handverletzungen entstehen sehr häufig größere Hautdefekte, die für den Verletzten besonders schwerwiegend sind, wenn sie die Fingerkuppen betreffen. Derartige Hautdefekte müssen primär durch einen Vollhautlappen plastisch gedeckt werden. ZRUBECKY und SCHARITZER stellten an 31 Patienten Nachuntersuchungen an, bei denen an den Fingerkuppen ein Vollhautlappen reaktionslos eingeheilt war. Diese Patienten waren nicht in der Lage, bei geschlossenen Augen mit den verletzten Fingern Münzen von einer glatten Unterlage aufzunehmen.

An den mit einem Vollhautlappen plastisch gedeckten Fingerkuppen bestand lediglich eine funktionell ausreichende Schutzsensibilität. Nach ZRUBECKY bezeichnet man den ulnaren Kuppenanteil des Daumens und den radialen Anteil des Zeigefingers als die "funktionell entscheidenden Zonen". Sind primär diese Kuppenanteile durch einen Hautlappen plastisch gedeckt worden, muß sekundär eine sensible Ersatzoperation durchgeführt werden, da die Resensibilisierung in einem Hauttransplantat nur bis zu einer funktionell ausreichenden Schutzsensibilität geht.

Die Verletzung peripherer sensibler Nerven bewirkt nicht allein einen Sensibilitätsausfall der entnervten Hautabschnitte. Oft folgen schwere Durchblutungsstörungen und Hautveränderungen (Hyperkeratosen, glossy skin). Sekundäre Verletzungen, die durch mangelnde tactile Gnose zustande kommen, wurden in einem Fall besonders beschrieben.

Bei der Auswertung der 698 Sensibilitäts-Teste nach E. MOBERG konnte festgestellt werden, daß für den Erhalt eines gut diagnostizierbaren Fingerabdruckes das Alter des Verletzten nicht entscheidend ist, sondern die berufsbedingte Hornhautbildung und die vegetative Veranlagung des Betreffenden.

Die Ninhydrin-Methode war der bisherig einzige objektive Sensibilitäts-Test, der über lange Zeit hinaus aufgehoben werden konnte. Es gelang mir, durch die Anwendung von selbstklebendem Papier auch den Jod-Stärke-Test von MINOR präservierbar zu machen. Auf der Suche nach neuen objektiven Sensibilitäts-Testen modifizierte und entwickelte ich drei neue Verfahren, die sofort diagnostizierbar sind und ebenfalls aufgehoben werden können. Der Ninhydrin-Test ist der derzeit erprobteste und genaueste Sensibilitäts-Test zum Nachweis der tactilen Gnose.

Für die funktionelle Leistungsfähigkeit der Hand ist die vorhandene tactile Gnose der entscheidende Faktor, der in Verbindung mit dem motorischen Anteil der Hand erlaubt, eine Reihe von hochdifferenzierten Bewegungen auszuführen und sie zu einer einmaligen Bedeutung als Tast- und Greiforgan für den Menschen macht.

LITERATUR

BARGMANN, W.	Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. 2. verbesserte Auflage. Thieme-Verlag Stuttgart 1956.
BENNINGHOFF, A.	Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 1. Band. Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. 4. Auflage. Urban und Schwarzenberg, Berlin-München 1949.
ders.	Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 2. Band. Nervensystem, Haut und Sinnesorgane. Urban und Schwarzenberg, Berlin-München 1954.
BETHE	Über die Regeneration peripherer Nerven. Arch. f. Psychologie 34.
ders.	Zur Frage von der autogenen Nervenregeneration Neur. Zbl. 903, 22.
BLOCK, W.	Beobachtungen am vegetativen Nervensystem nach Eingriffen am sympathischen Partner. Act. Neur. 1953, V., 187-220.
BRUN, R.	La Sécrétion Sudorale à la Sécrétion Sebacéé. Arch. d. Sci. 1954, 7 , 223-302.
BUMKE, O. und FOERSTER, O.	Handbuch der Neurologie. Berlin-Verlag v. J. Springer. 1935, 9. 23-65.
BUNNELL-BÖHLER	Die Chirurgie der Hand. W. Maudrich-Verlag, Wien-Bonn-Bern. 1958 I. Teil.
DE VILLAVERDE, I. M.	Histopathologie der Neuritis und Polyneuritis. Berlin-Verlag v. J. Springer. 1935, 9, 145-183.
DIEDEN, H.	Die Innervation der Schweißdrüsen. Dtsch. med. Wztschr. 1918, 28.
DORSCHEID, H. O.	Nachweis der Schweißdrüsensekretion bei vegetativer Dystonie. Acta Neur. 1954, 10, 444.

EDINGER — Untersuchungen über die Neubildung der durchtrennten Nerven. Dtsch. Ztschr. f. Nervenheilkunde. 1918, 58, 1.

ERLACHER — Typische Lähmungsbilder bei Armnervenverletzungen. Dtsch. med. Wztschr. 1916, I.

FLASCHENTRAGER B. — Ein Handbuch für Ärzte, Biologen und Chemiker. II. Band, II. Teil, Bandteil B. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. 1957, 307.

FOERSTER O. — Über die Vasodilatoren in den peripheren Nerven und hinteren Rückenmarkswurzeln beim Menschen. Leipzig-Verlag von F. C. W. Vogel, 1929, 107, 41-56.

V. FREY, M. — Die Gliederung des Tastsinnes. Dtsch. Ztschr. f. Nervenheilkunde. 1928, 101, 155-183.

GUTTMANN, E. — Die funktionelle Regeneration von peripheren Nerven. Akademie-Verlag Berlin 1958.

GUTTMANN, L. — Die nervösen Leitungsbahnen der Schweißsekretion beim Menschen. Acta Neur. 1953, IV.

HOHMANN, G. — Hand und Arm. Ihre Erkrankungen und deren Behandlung. München. Verlag v. I. F. Bergmann 1949.

KREUZ, L. — Die Herrichtung des Unterarmstumpfes zum natürlichen Greifarm nach dem Verfahren Kruckenbergs. Ztschr. f. Chirurgie. 1954, 71, 37-38.

ders. — Die fühlende Kunsthand. (Ihre Theorie und Praxis.) DMW von 1951, 76, 36, 1101-1103.

KREUZ, L. — Spalthandbildung, Methode nach L.Kreutz. Ztschr. f. Chirurgie. 1944, 1170.

V. LANZ, T. und WACHSMUTH — Praktische Anatomie. Arm. I. Band, III. Teil. Springer-Verlag. Berlin-Göttingen-Heidelberg. 1959.

LANDOIS-ROSEMANN — Lehrbuch der Physiologie. 22. Auflage. Urban und Schwarzenberg, Berlin und Wien 1942.

MINOR, V. — Ein neues Verfahren zu der klinischen Untersuchung der Schweißabsonderung. Dtsch. Ztschr. f. Nervenheilkunde. 1928, 101, 302.

MOBERG, E. — Akute Handchirurgie. Köln-Lindenthal, Buchhandlung f. Medizin. 1953, 43-44.

ders. — Objektiv methods for determining the funktional value of sensibility in the hand. Journal of bone and joint surgery; british number, august 1958.

MÜLLER, L.R. — Das vegetative Nervensystem. Verlag v. J. Springer. Berlin 1920.

PATZELT, V. — Über das Myelin und die Einteilung der Nervenfasern. Acta Neur. 1953, VI., 170-181.

RAUBER-KOPSCH — Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. Band II, Eingeweise, Nervensystem und Sinnesorgane. 19. Auflage. Georg Thieme-Verlag Stuttgart 1955.

REIN, H. — Einführung in die Physiologie des Menschen. 8. Auflage. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 1947.

REMMETZ — Über die operative Behandlung der Nervenverletzungen. Dtsch. Ztschr. f. Chirurgie, 1916, 138, 466.

SPIELMEYER	Über die Regeneration peripherer Nerven. Ztschr. f. Neur. 1917, 36, 421.
STÖHR, V. MÖLLENDORF, GOERTLER	Lehrbuch der Histologie. VEB Gustav Fischer-Verlag Jena. 1955.
STÖHR, Ph. jun.	Zusammenfassende Ergebnisse über die Endigungsweise des vegetativen Nervensystems. Acta Neur. 1955, X., I. und II., 21-109.
SCHWAB, O.	Die Topik der Sensibilitätsstörungen bei Läsionen der sensiblen Leitungsbahnen und Zentren. Dtsch. Ztschr. f. Nervenheilkunde. 1928, 101, 211-249.
THAUER, R.	Physiologie der Wärmeregulation. Acta Neur. 1955, X., 12-37.
VEREBELY	Die Kriegsverletzungen der Blutgefäße und der peripheren Nerven. Wien. Med. Wschr. 1916 II.
WALDENBERG, A.	Anatomie, Physiologie und Pathologie des sensiblen Nervensystems. Dtsch. Ztschr. f. Nervenheilkunde. 1928, 101, 11-155.
WALTER, F. K.	Die Regeneration der peripheren Nerven. Inaugural-Dissertation Rostock 1908.
WEXBERG, E.	Kriegsverletzungen der peripheren Nerven. Ergebnisreferat. Z. f. Neur., Referatenteil. 1916 und 1919, 18, 257.
ders.	Neuritis und Polyneuritis. Handbuch der Neurologie. Berlin-Verlag von J. Springer. 1935, 9, 69-138.
ders.	Traumatische Erkrankungen der peripheren Nerven und des Plexus. Handbuch der Neurologie. Berlin-Verlag von J. Springer. 1935.

ZRUBECKY, G. Die Hand, das Tastorgan des Menschen. Enke-Verlag, Stuttgart 1960.

ders. Die Bedeutung der secundären Greifformen der menschlichen Hand. Ztschr. f. Orthopädie. 1958, Band 89. S. 571-797.

ders. Die konservativen Wiederherstellungsmaßnahmen bei schweren Handverletzungen. Arch. Orthopädie und Unfallchirurgie. 1958. Band 49, S. 629-637.

Lebenslauf

Am 14. 3. 1937 wurde ich in Köslin in Pommern als Sohn des Augenarztes Dr. med. Alfred Durst und seiner Ehefrau Hilde Durst geboren. 1945 flüchteten meine Eltern mit mir von Pommern nach Mitteldeutschland. 1955 bestand ich an der Melanchthon-Oberschule zu Wittenberg das Abitur und wurde als Student der Medizin an der Humboldt-Universität in Berlin immatrikuliert. 1957 verließ ich nach bestandenem Vorphysikum die Ostzone und studierte weitere 2 Semester an der Freien Universität Berlin. 1958 ging ich nach Hamburg und bestand Ende des Wintersemesters 1958/59 das Physikum.

Nach einem weiteren Semester an der Freien Universität Berlin im Sommer 1959 übersiedelte ich an die Universität Tübingen. Im Herbst des gleichen Jahres erhielt ich von Herrn Doz. Dr. Zrubecky die vorliegende Arbeit.

Seit dieser Zeit bin ich Student der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen und werde im Frühjahr 1962 das Medizinische Staatsexamen ablegen.